

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Curso de Mestrado

P

P

G

E

C



**EVAPORAÇÃO NATURAL DO LIXIVIADO DO
ATERRO DA MURIBECA ATRAVÉS DE UM
DESTILADOR SOLAR**

Lidiane Freire de Sá

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Evaporação Natural do Lixiviado do Aterro da Muribeca através de um Destilador Solar

Por

LIDIANE FREIRE DE SÁ
(Eng^a. Sanitarista pela UFPA)

Recife, PE – Brasil
Abril de 2008

Evaporação Natural do Lixiviado do Aterro da Muribeca através de um Destilador Solar

Lidiane Freire de Sá

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL

Aprovada por:



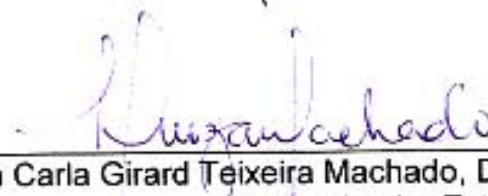
José Fernando Thomé Jucá, D. Sc.
(orientador)



Prof. Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho, D. Sc.
(co-orientador)



Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral, Ph. D.
(Examinador Interno)



Luiza Carla Girard Teixeira Machado, D. Sc.
(Examinador Externo)

Recife, PE – Brasil
Abril de 2008

S111e

Sá, Lidiene Freire de.

Evaporação natural do lixiviado do aterro da Muribeca através de um destilador solar / Lidiene Freire de Sá. - Recife: O Autor, 2008. xvii, 116 folhas, il : figs., tabs., gráfs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2007.

Inclui Bibliografia.

1. Engenharia Civil. 2.Lixiviado. 3.Destilador Solar. 4.Resíduos Sólidos - Evaporação. I. Título.

UFPE

624

CDD (22. ed.)

BCTG/2008-088

*Dedico esse trabalho a todas as pessoas que,
direta ou indiretamente, trabalham com
resíduos sólidos e contribuem de alguma
maneira para a preservação da natureza.*

AGRADECIMENTOS

A meu querido e bondoso Deus, e aos Espíritos Superiores por me darem esta oportunidade na Terra, para que tivesse a oportunidade de crescer espiritualmente, intelectualmente. E agradeço também pela saúde e força concedida nas horas mais difíceis e pelos obstáculos a serem superados aqui em Recife.

A minha *mãe, tia Dinha e tia Corrinha*, que sempre me incentivaram para meu crescimento profissional. Obrigada por não me deixarem desistir nas horas mais difíceis dizendo: “Já está aí agora vá até o fim”.

Aos meus irmãos que amo tanto Aliandra, Viviane, Arildo e Arivalter por torcerem sempre por mim.

Aos meus tios e primos e sobrinhas que me deram incentivo para continuar a buscar o melhor;

Aos meus avôs (in memória) que sei que sempre estão ao meu lado dando-me forças, incentivos e principalmente juízo.

Aos amigos de Belém, Tatiana, Rafaela, Carol, e Leonardo por sempre estarem ao meu lado, mesmo distante nunca deixando esquecer que a amizade realmente existe.

Aos amigos da graduação Mary, Milliet, Anderson, pelo apoio, incentivo e amor dedicado, estando sempre ao meu lado e sendo fundamental em todos os momentos vividos nesta etapa.

A Pedranne minha amiga e companheira de apartamento, que foi importante para meu equilíbrio pessoal, pois sempre esteve do meu lado não horas ruim é principalmente nas horas de alegrias, obrigada pelos conselhos, críticas e opiniões. E obrigada por se minha família aqui em Pernambuco.

A Ericka e Etiene as paraense que também vieram fazer mestrado em Recife, obrigada pelo apoio e carinho, e por sempre estarem ao meu lado e por terem torcido por mim.

A Elisângela por sempre se procurar em saber como estava, e obrigada pelas dicas e sugestões.

Ao co-orientador e amigo, Prof. Maurício Motta, com seu bom humor, paciência, tempo e disposição, ajudou-me na realização deste trabalho na qual se não fosse por ele realmente não teria saído. Vou ser muito grata.

Ao orientador, Prof. José Fernando Thomé Jucá, por te dado à oportunidade de fazer parte do seu grupo de Pesquisa GRS.

A todos os professores da Pós-graduação de Engenharia Civil – UFPE, que dedicaram seu tempo e conhecimento a esta Universidade.

Ao professor Washington, pela atenção e preocupação.

A todos os colegas, do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS), destacando Antônio Brito, pela disposição e ajuda indispensável.

Aos amigos, que fiz e conquistei nesta etapa da vida aqui em Recife.

Ao Evandro pelo carinho, apoio e compreensão ao longo desses anos do mestrado.

Aos funcionários do departamento de geotecnia, que sempre se colocaram a disposição: Andréa, Seu Severino e Vânia.

Aos funcionários que trabalham na Muribeca, que nunca negaram ajuda principalmente Elias e Delson.

Aos colegas do Departamento de Energia Nuclear, Prof^ª Olga, Erick, Rinaldo, que cederam um lugar para colocar o meu evaporador solar, pelos dados fornecidos, e que direta ou indiretamente colaboraram para essa pesquisa.

Ao ITEP por fornecer os dados de precipitação pluviométrica.

Ao CNPq pela contribuição financeira.

Ao Prosab por financiar meu projeto.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para elaboração e conclusão deste trabalho.

RESUMO

O descarte do lixiviado gerado nas áreas de disposição de resíduos sólidos representa um dos vários fatores de risco para o meio ambiente, em especial a qualidade de água dos corpos hídricos, pois apresenta altas concentrações de matéria orgânica, bem como quantidade consideráveis de metais pesados. Em geral, o lixiviado possui uma DBO que equivale cerca de 200 vezes o esgoto doméstico, tornando-se necessário prever um sistema de tratamento de forma a conseguir uma descarga de carga orgânica aceitável pela legislação compatível com a classe do corpo d'água receptor. O lixiviado estudado foi da Estação de Tratamento de Chorume (ETC) do Aterro da Muribeca (PE), o qual recebe os resíduos das cidades de Recife e Jaboatão dos Guararapes. O objetivo deste trabalho é construir, desenvolver, avaliar e otimizar um sistema de evaporação natural do lixiviado, com intuito de diminuir as cargas orgânicas. Os parâmetros físico-químicos estudados foram: Cor, Turbidez, Condutividade, pH, Sólidos Totais, Amônia, DBO₅, DQO e Metais; Os parâmetros microbiológicos: Coliforme Total e Termotolerante, realizados no lixiviado e na água destilada (água produto). Estudou – se também a influência da radiação solar, influência da temperatura e influência pluviométrica no evaporador. O estudo foi dividido em seis fases fechadas e duas fases abertas. A radiação solar que influencia na evaporação do lixiviado também influencia na produção da água destilada, a cada queda da radiação solar, ocorre também à queda no volume da água destilada. E quando ocorre uma grande precipitação a radiação solar diminui. Por sua vez, a produção de água depende da temperatura ambiente e principalmente da radiação solar. Os resultados mostraram que, a água destilada possui um pH alcalino, ocorre redução de condutividade no destilado, a destilação solar fornece uma água isenta de sais. Ocorre remoção de quase 100% para Turbidez, Cor e Sólidos Totais, a água destilada é uma água mais pura e, portanto, livre de material em suspensão (principal causador da turbidez , cor). Os resultados da DBO e DQO do destilado encontram-se com valores bem abaixo dos valores encontrados no lixiviado. Os coliformes totais e fecais do destilado obtiveram valores menores que dois, significa que este efluente tratado não há mais contaminações. Verificou-se que os resultados dos metais (Cr, Mn, e Fe) não ultrapassaram o valor 1,0 mg/L. Com base nos resultados obtidos, observou-se que o tratamento utilizado através da evaporação solar natural, ou seja, utilizando o sol como fonte de energia, a maioria das análises ficou de acordo com os padrões de lançamento do CONAMA 357/2005.

Palavra chave: Lixiviado, Evaporação, Destilador solar.

ABSTRACT

The act of discarding the leachate originated from the storage zones of waste solid represents one of the greatest risks for the environment, especially the water's quality in the rivers, because of the highest concentration of organic matter and harmful metal. Usually, the leachate reaches a BOD value equivalent at 200x the domestic sewer. It turns necessary to foresee a treatment system that can get a flush of organic material allowed by the legislation in equality with the class of the receiver water's body. The leachate we studied come from the Leachate Treatment Center (LTC) of Muribeca Landfill (PE), which receives waste from the towns of Recife and Jaboatão dos Guararapes. The subject of this research is to build, develop, valuate and optimize a system of natural evaporation of leachate, attempting to reduce the organic loads. The physical and chemical parameters of study are: color, muddy, conductivity, pH, total solids, ammonia, BOD and metals; the microbiological parameters are: total coliform and thermal toleration using leachate and distilled water. We included on the research the influence of solar radiation, temperature and pluvial influence on the evaporator. The research was shared in six closed steps and two open steps. The solar radiation that influences on the leachate evaporation also influences the production of distilled water, in every decreasing of solar radiation, occur the decreasing of distilled water volume and when a great decreasing occur, the solar radiation decrease too. But, the water production depends on the temperature of the atmosphere and essentially of the solar radiation. The results shows that the distilled water gets an alkaline pH., there's reduction of conductivity over the distilled and the solar distillation results in water free from salts. Also removes about 100% of the muddy and total solids, the distilled water is more pure and free from suspended matter (main responsible for the muddy and color). The BOD and COD results of distilled showed values lower than found on leachate. The total coliforms and toleration from distilled showed values lower than, that means there's no more pollution. The results with metals (Cr. Mn and Fe) didn't overtake the value of 1,0mg/l. Based on the results we affirm the treatment thru the natural solar evaporation, it means, getting the sun as fountain of energy, the analysis become with the discarding model of CONAMA.

Key Words: Leachate, Evaporation, Solar distillation

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	2
1.1. Aspectos Gerais	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo Geral	4
1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.3. Estrutura da Dissertação	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Considerações Gerais de Resíduos Sólidos	7
2.2. Processo de Degradação dos Resíduos Sólidos	10
2.3. Considerações Gerais do Percolado	13
2.4. Origem e Formação do Percolado	14
2.5. Características, Composição do Percolado	16
2.6. Degradabilidade dos Lixiviados	19
2.7. Problema Ambiental e Tratabilidade do Lixiviado	21
2.8. Processos de Tratamento do Lixiviado	23
2.8.1. Evaporação	23
2.8.2. Recirculação	23
2.8.3. Processos Físico-químicos	24
2.8.4. Processos Biológicos	25
2.8.5. Processos de Separação com Membranas	30
2.8.6. Lagoas de Estabilização	30
2.8.7. Processos Oxidativos Avançados (POA's)	32
2.8.8. Wetlands	32
2.8.9. Sistema de Barreira Bio-química	32
2.9. Destilador solar	33
2.9.1. Histórico	33
2.9.2. Características do Destilador	34
2.9.3. Princípio de Funcionamento dos Destiladores	36
2.9.4. Inclinação do Vidro	37
2.9.5. Eficiência e Produção Típicas	39
2.9.6. Processos de transmissão de calor num destilador	41
2.9.7. Radiação Solar	41
2.9.8. Vantagens e Desvantagens da Destilação Solar	43
3. METODOLOGIA	46
3.1. Aspectos Gerais do Aterro da Muribeca	46
3.2. Projeto e Descrição do Evaporador Solar	47
3.2.1. Escolha dos Materiais	48
3.2.2. Construção do Piloto Experimental	49
3.2.3. Instalação do Evaporador	52
3.3. Fases Estudadas	54
3.3.1. Fases com Evaporador Solar Fechado	54
3.3.2. Fases com Evaporador Solar Aberto	57
3.4. Pontos de Amostragem e Procedimento de Coleta	58
3.5. Determinações dos Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos estudados	60
3.5.1. Análise da Demanda Química de Oxigênio	60
3.5.2. Análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	61
3.5.3. Medida de pH	62
3.5.4. Cor e Turbidez	62
3.5.5. Medida dos Sólidos Totais	62
3.5.6. Medida da Condutividade	63

3.5.7. Metais	63
3.5.8. Nitrogênio Total	64
3.5.9. Coliformes totais e termotolerantes	65
3.6. Avaliação do Recurso Solar e Precipitação.....	64
3.6.1. Radiação total e difusa	65
3.6.2. Temperatura	65
3.6.3. Dados Pluviométricos	66
3.7. Análise dos Gases.....	67
3.8. Balanço Hídrico	68
3.9 Cronograma de Análises	
4. ANÁLISES DOS RESULTADOS	70
4.1. Estudos Iniciais do Sistema Fechado de Tratamento de Lixiviado por Evaporação	70
4.1.1. Fase I	70
4.1.2. Fase II	72
4.1.3. Fase III	77
4.2. Comportamento do Sistema Fechado de Tratamento de Lixiviado por Evaporação.....	82
4.2.1. Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos	82
4.2.2. Recurso Solar	89
4.2.3. Balanço Hídrico	98
4.3. Comportamento do Sistema Aberto de Tratamento de Lixiviado por Evaporação	99
4.3.1 Balanço Hídrico	99
4.3.2. Monitoramento dos gases	102
4.4. Corrosão do Evaporador Solar	102
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
5.1. Conclusões	105
5.2. Recomendações	105
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Fases de Degradação dos Resíduos Sólidos	12
Figura 2.2: Fluxo da água em um aterro sanitário	15
Figura 2.3: Concentração dos lixiviados em relação ao tempo	19
Figura 2.4 - Reatores UASB em escala piloto	26
Figura 2.5: Detalhe da colocação da brita do filtro anaeróbio na base do patamar de cotas mais baixas do aterro.	27
Figura 2.6: Esquema de um Sistema de Lodo Ativado	29
Figura 2.7: Foto de filtro biológico	29
Figura 2.8: Foto de uma Lagoa anaeróbia	31
Figura 2.9: Esquema de uma lagoa facultativa	31
Figura 2.10 : Foto de um destilador solar de água	35
Figura 2.11: Distribuição anual da radiação solar no Brasil	37
Figura 2.12: Destilador solar com cobertura de 20°	38
Figura 2.13: Balanço de energia no destilador convencional	40
Figura 2.14: Variação de exposição da superfície terrestre aos raios solares	43
Figura 3.1: Fotos do aterro da Muribeca	46
Figura 3.2: Estação de tratamento de lixiviado (ETC) do Aterro da Muribeca, PE.	47
Figura 3.3: (a) Placa de Aço Inox, (b) Placa de Aço Galvanizado, (c) Placa de Alumínio, (d) Placa de Acrílico, e) Placa de Vidro.	48
Figura 3.4: Visão da base do evaporador em perspectiva com cotas	51
Figura 3.5: Visão frontal do destilador e dos dispositivos de coleta	51
Figura 3.6: Vista das calhas onde é feita a coleta da água destilada	52
Figura 3.7: Lagoa de Decantação e Evaporador Aterro da Muribeca	52
Figura 3.8: Foto da unidade piloto na área de testes do Grupo de Energia Solar (FAE) do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE	53
Figura 3.9: Preenchimento do Evaporador com lixiviado	53
Figura 3.10: Vedação do Evaporador	54
Figura 3.11: Mapa da Radiação solar do mês de Janeiro e Fevereiro	55
Figura 3.12: Mapa da Radiação solar do mês de Março	55
Figura 3.13: Mapa da Radiação solar do mês de Abril	56
Figura 3.14: Mapa da Radiação solar do mês de Julho, Agosto e Setembro	56
Figura 3.15: Mapa da Radiação solar do mês de Outubro	57
Figura 3.16: Mapa da Radiação solar do mês de Novembro	57
Figura 3.17: Local onde é retirado o Lixiviado Bruto (lagoa de Decantação)	58
Figura 3.18: Coleta do lixiviado na lagoa de decantação	58
Figura 3.19: Coletas das amostras de água destilada das calhas de saída do sistema	59
Figura 3.20: Evaporador preenchido com 45L de Lixiviado	59

Figura 3.21: Medição diária da altura do lixiviado através de um paquímetro	59
Figura 3.22: Enchimento do evaporador para o segundo experimento aberto.	60
Figura 3.23: Equipamento de monitoração de Radiação solar	65
Figura 3.24: Medição da temperatura interna do Evaporador solar e temperatura ambiente através de um sensor	66
Figura 3.25: Aparelho que mede as temperaturas (DATALOG)	66
Figura 3.26: Pluviômetro	66
Figura 3.27: Equipamento para análise dos gases.	67
Figura 3.28: Paquímetro Digital	67
Figura 4.1: Líquido lixiviado e Líquido destilado	71
Figura 4.2: Variação da Cor da água destilada	72
Figura 4.3: Variação da Turbidez da água destilada	73
Figura 4.4: Variação do Oxigênio Dissolvido da água destilada	74
Figura 4.5: Variação da Condutividade Elétrica da água	74
Figura 4.6: Variação dos Sólidos Totais da água destilada	75
Figura 4.7: Variação do pH da água destilada	75
Figura 4.8: Variação dos Metais da água destilada	76
Figura 4.9: Variação do DQO da água destilada	76
Figura 4.10: Ataque da ferrugem à cobertura de vidro do evaporador solar e contaminação do destilador	77
Figura 4.11: Nova cobertura de vidro para o Evaporador solar	78
Figura 4.12: Variação da Turbidez da água destilada	78
Figura 4.13: Variação da Cor da água destilada	79
Figura 4.14: Variação dos Sólidos Totais na água destilada	79
Figura 4.15: Variação da variação da Condutividade na água destilada	80
Figura 4.16: Variação da variação do pH da água destilada	80
Figura 4.17: Variação da variação do Oxigênio Dissolvido da água destilada	81
Figura 4.18: Variação da concentração de metais na água destilada.	81
Figura 4.19: Variação do pH da água destilada	83
Figura 4.20: Variação da Condutividade Elétrica da água	83
Figura 4.21: Variação da turbidez da água destilada	84
Figura 4.22: Variação da cor da água destilada	84
Figura 4.23: Variação dos Sólidos Totais da água destilada	85
Figura 4.24: Variação do DQO da água destilada	85
Figura 4.25: Variação da DBO da água destilada nas fases IV, V e VI.	86
Figura 4.26: Valores dos metais nas três fases pesquisadas. a) Fase IV, b) Fase V, c) Fase VI	87
Figura 4.27: Variação dos valores do nitrogênio amoniacal	88
Figura 4.28: Gotas de água condensadas na cobertura do destilador	90

Figura 4.29: Comportamento da radiação solar e do volume evaporado	90
Figura 4.30 Comportamento da radiação solar e Precipitação	91
Figura 4.31: Comportamento da Precipitação e do volume evaporado de lixiviado	91
Figura 4.32: Comportamento da radiação solar total, direta e difusa	92
Figura 4.33: Comportamento da radiação solar e Precipitação	92
Figura 4.34: Comportamento da radiação solar e do volume evaporado	93
Figura 4.35: Comportamento da Precipitação e do volume evaporado de lixiviado	94
Figura 4.36: Variação da temperatura interna e ambiente durante o mês de novembro	94
Figura 4.37: Variação de temperatura do 3º dia para uma operação de 13 horas.	95
Figura 4.38: Variação de temperatura do 11º dia para uma operação de 13 horas	96
Figura 4.39: Variação de temperatura do 14º dia para uma operação de 13 horas	96
Figura 4.40: Variação da temperatura interna e ambiente e do volume evaporado	97
Figura 4.41: Variação da temperatura interna e ambiente e Radiação Solar	98
Figura 4.42: Comportamento da Precipitação e Balanço Hídrico para um volume de 45L	100
Figura 4.43: Comportamento do Balanço Hídrico e da radiação para um volume de 45L	100
Figura 4.44: Comportamento da Precipitação e Balaço Hídrico para um volume de 400L	101
Figura 4.45: Comportamento da Precipitação e da Radiação Solar para um volume de 400L	101
Figura 4.46: Variação da concentração dos gases com o tempo.	102
Figura 4.47: Efeito da corrosão no evaporador: a) Sem uso, b) 6º mês de uso e c) após um ano de uso ..	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição Típica de Resíduos Sólidos Municipais.	9
Tabela 2: Variação de Propriedades e Concentração de Substâncias do Lixiviado	18
Tabela 3: Dados típicos da composição do lixiviado para aterros novos e antigos.	19
Tabela 4: Biodegradabilidade dos constituintes orgânicos presentes nos resíduos sólidos municipais .	21
Tabela 5 - Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios em relação aos processos aeróbios	25
Tabela 6: Frequência do período de estudo	48
Tabela 7: Pesos antes e depois de mergulhado no lixiviado	49
Tabela 8: Resumos das frequências das fases estudadas	61
Tabela 9: Frequência das análises do lixiviado e destilado nas etapas estudadas	68
Tabela 10: Resultados dos metais analisados no lixiviado e no destilado	71
Tabela 11: Resumo dos resultados das análises estudadas e suas remoções	82
Tabela 12: Resumo dos resultados das análises estudadas e suas remoções	89
Tabela 13: Volume da entrada e saída do evaporador solar.	99

LISTA DE NOMENCLATURA E ABREVIACOES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CO₂	Gás Carbnico
CETEB	Centro de Ensino Tecnológico de Brasília
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
Cr	Cromo
d	dia
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEN	Departamento de Energia Nuclear
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMLURB	Empresa Municipal de Limpeza e Urbanização
ETC	Estaao de Tratamento de Chorume
FAE	Fonte Alternativa de Energia (Grupo de Pesquisa da UFPE)
Fe	Ferro
h	Hora
H₂S	Gás Sulfidrico
ha	Hectare
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
L	Litro
L/s	Litros por segundo
LA	Lagoa Anaeróbia
LD	Lagoa de Decantação
LF 1	Lagoa Facultativa 1
LF 2	Lagoa Facultativa 2
LF 3	Lagoa Facultativa 3
m	Metros
m³	Metros cúbicos
mg/L	Miligrama por litro
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
NH₃ +	Amônia
NH₄⁺	Amnio
NO₂⁻	Ntrito
NO₃⁻	Ntrato
O₂	Oxigênio molecular

OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogênioônico
Pb	Chumbo
Q	Vazão
RMR	Reação Metropolitana de Recife
ST	Sólidos Totais
SF	Sólidos Fixos
SV	Sólidos Voláteis
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
V	Volume
%	Porcentagem
Zn	Zinco
Wh/m²	Watts-hora por metro ao quadrado

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1.1. Aspectos Gerais

Com o crescimento populacional das cidades e conseqüente aumento da economia e do consumo, ocorre uma produção exacerbada de resíduos sólidos em todo mundo. Mesmo com avanços tecnológicos, o processamento do lixo não é eficiente, havendo um insignificante reaproveitamento e reciclagem do material, e uma grande demanda de resíduos sendo lançados diretamente na natureza, formando os lixões.

As conseqüências adversas da disposição de resíduos sólidos é um importante problema da atualidade que envolve a análise de migração de contaminantes a partir dos locais onde esses resíduos são dispostos, bem como garantia de estabilidade e impermeabilização dos locais usados para disposição dos mesmos. Dentre os contaminantes ou poluentes destes resíduos destacam-se os: cloretos, nitratos, metais pesados e compostos orgânicos de difícil degradabilidade (OLIVEIRA, 1999).

No Brasil são produzidas aproximadamente 130.000 toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos por dia (PNSB, 2000), os quais representam um dos mais graves problemas de saneamento ambiental. Estima-se que, em média, 55% (em peso) dos Resíduos Sólidos Urbanos produzidos são constituídos de matéria orgânica putrescível, sendo imprescindível a busca de alternativas tecnológicas adequadas para o tratamento dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos gerados na sua decomposição.

Os resíduos líquidos percolados representam a principal fonte de poluição em aterros sanitários, sendo os mesmos gerados pela infiltração de água das chuvas que percolam através da massa de resíduos, carreando os produtos da decomposição biológica e os elementos minerais em dissolução. Estes efluentes representam um problema de poluição potencial para as águas superficiais e principalmente, para as águas subterrâneas (SOUZA, 2005).

O Lixiviado ou percolado é um líquido escuro gerado pela degradação dos resíduos em aterros sanitários e é originário de quatro diferentes fontes:

- Da umidade natural do lixo, aumentando no período chuvoso;
- Do líquido de constituição da matéria orgânica, que se origina durante o processo de decomposição;
- Das bactérias existentes no lixo, que expõem enzimas e as mesmas dissolvem a matéria orgânica com formação de líquido.

- De fontes de águas naturais existentes na área de disposição dos resíduos.

Segundo Ledesma *et al.* (2000), a estimativa de produção dos líquidos percolados ao longo da vida de um aterro sanitário, bem como o tempo que levam para serem formados, são dados valiosos para minimizar o impacto destes ao meio ambiente.

O impacto produzido pelo lixiviado sobre o meio ambiente está diretamente relacionado com a sua fase de decomposição. O lixiviado de aterro novo, quando recebe boa quantidade de água pluvial é caracterizado por pH ácido, altas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) e de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e diversos compostos potencialmente tóxicos. Com o passar dos anos há uma redução significativa da biodegradabilidade devido à conversão, em gás metano e CO₂, de parte dos componentes biodegradáveis.

Para definição do processo a ser aplicado ao tratamento do percolado faz-se necessário que se conheça o projeto, no caso de aterro sanitário, bem como, a qualidade e quantidade do percolado e do grau de tratamento desejado. O tratamento adequado economicamente e ambientalmente viável do percolado tornou-se, nas últimas décadas, o objeto de estudo de vários pesquisadores nas mais diversificadas áreas que envolvem o meio ambiente. (ROCHA, 2005).

De acordo com Russo e Vieira (2000), os métodos de tratamento dos percolados conduzem a dividir os processos em três grandes grupos, ou seja: nos processos do primeiro grupo aparecem as combinações de processos de separação com processos de eliminação baseados em tratamentos biológicos com etapas posteriores de eliminação e/ou separação de componentes não biodegradáveis; no segundo grupo encontram-se os processos de separação físicos, físico-químicos e térmicos, cujos produtos finais são resíduos secos, com concentrações superiores a 90% de sólidos e de um líquido que contém nitrogênio amoniacal, sulfato de amônio, fosfato de amônio. Um terceiro grupo é constituído por combinações de métodos de recirculação dos percolados e dos concentrados provenientes de processos de separação. O próprio aterro constitui um reator anaeróbio para os concentrados inoculados conjuntamente com cerca de 30% de percolado (facilidade de escoamento por bombeamento).

Os processos de tratamento de efluentes se dividem em dois grandes grupos. Os que concentram o poluente (processos de separação e adsorção) e os que destroem os poluentes (basicamente os processos oxidativos e pirolíticos). Como exemplos de processos que concentram o poluente têm-se a adsorção, filtração, processos com membrana (ultrafiltração, osmose inversa, microfiltração), decantação e evaporação, dentre outros.

A fim de obter um lixiviado de baixas concentrações, reduzindo principalmente amônia e DQO, o tratamento de lixiviado por processos de evaporação se apresenta como uma nova tecnologia de baixo custo (ETALLA, 1998).

A destilação solar tem sido pesquisada pelo homem, há muito tempo, como forma econômica e prática de obtenção de águas potáveis a partir de águas salobras e salinas, esta técnica apresenta inúmeras vantagens como: estar baseada numa fonte energética gratuita e abundante, ser tecnologia limpa e de fácil manutenção.

A destilação solar utiliza a energia solar diretamente, em um sistema extremamente simples: o processo natural de purificação de água, por meio de evaporação, condensação e precipitação, é reproduzido em pequena escala. Esse equipamento, chamado de destilador solar, consiste basicamente em um tanque raso com um tampo de vidro transparente, formando um volume estanque. A radiação solar atravessa o vidro e aquece a água, aumentando sua taxa de evaporação. O vapor d'água sobe, condensa em contato com o vidro mais frio, e a água destilada escorre até ser capturada por canaletas, deixando para trás os sais, outros minerais e a maioria das impurezas, incluindo microorganismos nocivos à saúde. Segundo Maluf (2005), a escolha do local à sua implementação é fundamental, pois somente existe uma adequação da tecnologia para locais com grande insolação, baixo nível pluviométrico, como é o caso da região do Nordeste brasileiro.

Dessa forma, neste trabalho será estudada a evaporação do lixiviado através de um destilador solar, que servirá como uma nova alternativa para diminuição das cargas orgânicas e a concentração das substâncias contidas no mesmo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

O objetivo deste estudo é construir, desenvolver e avaliar um sistema de tratamento do lixiviado, por evaporação natural, proveniente de aterros sanitários, em escala reduzida.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar os materiais utilizados para a construção do sistema
- Calcular e construir uma Unidade Piloto;
- Estudar a evaporação natural do lixiviado, através de uma unidade piloto;

- Avaliar o sistema em termo de redução dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do Evaporado (ou destilado);
- Monitorar a radiação solar, os dados pluviométricos e a temperatura para verificar os rendimento do Evaporador Solar;
- Realizar balanço Hídrico;
- Avaliar a operação do sistema aberto.

1.3. Estrutura da Dissertação

A dissertação foi estruturada da seguinte forma: inicialmente é feita uma Introdução do tema estudado, apresentando-se os objetivos propostos e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2, é realizada uma Revisão Bibliográfica, onde são vistos os aspectos gerais dos resíduos sólidos e do percolado, abordando características, composição, formação, degradabilidade, tratamento e vários conceito sobre destilação solar.

O Capítulo 3 trata dos Materiais e das Metodologias empregadas na pesquisa, ou seja, descreve os aspectos gerais do Aterro da Muribeca e da Estação de Tratamento de Chorume do referido aterro, apresentando histórico, definição e características. Aborda a caracterização do piloto experimental, do lixiviado e água destilada, assim como a metodologia para coletas e os métodos de quantificação do recurso solar.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos e sua respectiva análise e discussão, sendo inicialmente expostos os resultados iniciais, seguidos dos experimentos com a unidade piloto fechada (objetivando o reuso da água) e finalmente os experimentos com a unidade aberta (objetivando apenas o tratamento).

Ao final são apresentadas as considerações finais e conclusões relativas à está pesquisa e sugestões para futuras pesquisas.

CAPITULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção são apresentadas inicialmente algumas considerações gerais sobre os resíduos sólidos, seguida do seu processo de degradação e de formação do chorume e lixiviados. São ainda relatadas a degradabilidade dos lixiviados e seus processos de tratamento. Na sub-seção seguinte são revistos conceitos de destilação solar com as características e funcionamento da mesma e conceitos de radiação solar e balanço hidráulico. Finalmente, são apresentados trabalhos sobre tratamento de lixiviados por evaporação.

2.1. Considerações Gerais de Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos urbanos são comumente conhecidos como lixo. Via de regra, estes materiais são percebidos como algo que não presta, coisas inúteis, velhas, sem valor e que são jogadas fora, focos de doenças e de maus odores. Observe-se que esta percepção negativa vem evoluindo positivamente nos últimos anos. Neste sentido, estes materiais podem ser definidos como os resíduos provenientes das atividades humanas, composto basicamente por sobras de alimentos, papéis, papelões, plásticos, trapos, couros, madeiras, latas, vidros, lamas, gases, poeiras e outras substâncias descartáveis.

Segundo a norma brasileira 10.004 (ABNT, 2004), resíduos sólidos são aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível.

Todas as atividades humanas, independentes da sua natureza, têm como resultado geração de resíduos sólidos. A quantidade de resíduos gerada encontra-se diretamente correlacionada ao crescimento populacional, grau de desenvolvimento da sociedade e de industrialização. Partes destes resíduos, hoje em dia são reaproveitadas em diversos ramos industriais e, aqueles que não têm uma finalidade útil, são encaminhados para uma destinação final adequada, onde uma das técnicas mais utilizadas para a disposição dos resíduos sólidos é o aterro sanitário (SOUZA, 2005).

De acordo com Rocha (2005), entre as etapas de um gerenciamento dos resíduos sólidos para minimização dos impactos, a disposição adequada é muito importante. Existe, entre os métodos de disposição final dos resíduos sólidos, o *aterro sanitário*. Este método é o mais indicado de acordo com a realidade econômica e social dos países da América Latina, e mesmo assim, a maioria dos municípios brasileiros não possui aterros sanitários para esta disposição adequada. Desta forma, a disposição no solo sem proteção, ou seja, o *lixão* é a forma mais utilizada, proporcionando a proliferação de micro e macro vetores, inutilização de grandes áreas de solo, geração de maus odores e principalmente poluição dos recursos hídricos.

Os riscos de contaminação da disposição inadequada dos resíduos sólidos são diversos, e a população, segundo ROCHA *et al.* (2003), se preocupa apenas em ter um sistema eficiente de coleta dos resíduos, afastando-os do seu meio de convivência, não se importando em saber qual é o tratamento e disposição final dispensados aos resíduos por ela gerados.

Os aterros de resíduos sólidos urbanos, ao contrário dos maciços de solos compactados, são constituídos por diferentes tipos de componentes (metais, plásticos, papeis, vidros, matéria orgânica, solos, etc.) que, ao serem depositados, interagem formando um maciço heterogêneo e poroso de comportamento peculiar (CARVALHO, 1998).

Os metais pesados estão presentes no lixo urbano em grande quantidade, principalmente nas grandes cidades, onde a utilização de produtos domésticos contém grande quantidade desses componentes. O lixo proveniente de indústrias, também pode conter elevadas concentrações de metais pesados, e estão presentes em pilhas, baterias, jornais, tintas, tecidos, têxtil, enlatados, e inclusive em alimentos, os quais para serem produzidos e conservados necessitam de substâncias a base de metais pesados (inseticidas, herbicidas, fungicidas, fertilizantes, químicos, etc.). Teores de metais pesados estimados por Castilho Jr. (1988) mostram que, a fração matéria orgânica aparece como fonte principal dos metais pesados nos resíduos sólidos: Cu (80 a 70%), Ni (54 a 56%), Zn (26 a 42%), Cr (21 a 26%), Hg (17 a 70%), Cd (6 a 15%) e Pb (19 a 48%); os plásticos aparecem com principal fonte de Cd (67 a 77%); o chumbo e o cobre se manifestam em quantidades importantes nos metais ferrosos: Pb (29 a 50%) e Cu (1 a 50%) e o papel é uma fonte de Pb (10 a 14%).

A Tabela 1 apresenta a composição típica dos resíduos sólidos municipais. Sua composição é apresentada em percentagem por peso de lixo (SEGATO, 2000).

Tabela 1: Composição Típica de Resíduos Sólidos Municipais.

Categorias	Componentes	%Por Peso Líquido
A	Alimentos	5-20
	Resíduos de jardim	15-25
B	Papeis	40-50
	Plásticos	1-5
	Madeiras	2-5
	Outros Orgânicos	2-10
C	Ferro	5-10
	Outros Metais	0-1
D	Vidro	5-10
	Outros orgânicos	2-5
	Unidade	20-30

Fonte: SEGATO (2000)

De acordo com Bidone e Povinelli (1999), estes resíduos quanto ao grau de degradabilidade, podem ser classificados como:

- Categoria A: consiste nos resíduos facilmente biodegradáveis que são os alimentos e resíduos de jardinagem que produzem altas concentrações de matéria orgânica e nitrogênio amoniacal. Isto geralmente ocorre nos primeiros meses após o aterro do resíduo sólido.
- Categoria B: é também composta de matéria orgânica, mas menos biodegradável que a categoria A. Inclui papéis, plásticos biodegradáveis, madeira, etc. Devido à reduzida biodegradabilidade, estes componentes possuem concentração de orgânicos muito mais baixos que a categoria A, mas durante um período muito maior.
- Categoria C: inclui compostos metálicos principalmente ferro, manganês e zinco. Nesse período, esses e outros metais aparecem no lixiviado e permanecem por muitos anos por causa da baixa taxa de reação.
- Na categoria D aparecem os componentes inorgânicos não-metálicos como os vidros, os óleos e os sais. Os compostos facilmente solúveis aparecem nos primeiros meses, enquanto os menos solúveis produzirão contaminantes por alguns anos. Os metais alcalinos terrosos (cálcio, magnésio, sódio e potássio) e os ânions mais comuns (cloretos, sulfatos, fosfatos e carbonatos) surgem principalmente desse tipo de resíduo. Em todos os casos, há um limite da quantidade de contaminantes que pode ser formada, dependendo da composição do lixo.

De acordo com Godinho (1998), na construção de aterros devem ser acrescentados mecanismos que possibilitem a adoção de medidas de controle. É importante a instalação de um sistema de drenagem para captura e posterior tratamento do líquido percolado.

2.2. Processo de Degradação dos Resíduos Sólidos

Considerando os resíduos sólidos contidos em um aterro sanitário como uma mistura de materiais orgânicos e inorgânicos, os resíduos sofrem processo de oxidação e decomposição biológica, em presença ou ausência de oxigênio e água.

Rocha (2005) cita que a degradação dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário é um processo longo, sendo função da velocidade de degradação dos diferentes substratos, e seqüencial, em razão dos metabolismos distintos que se sucedem ou se superpõem. Esta última característica baseia-se no fato que na massa de lixo existem microrganismos aeróbios (presentes logo após a disposição do lixo) e organismos anaeróbios (principais responsáveis pela atividade metabólica durante toda a vida útil do aterro).

De acordo com Monteiro (2003), os principais fatores que influenciam no processo de decomposição da matéria orgânica são: a quantidade de água introduzida, a composição dos resíduos, a temperatura, a forma de operação do aterro, o alto teor de ácidos voláteis, o pH, a quantidade de nutrientes e inibidores do processo, o oxigênio, o hidrogênio, tamanho da partícula, grau de compactação e a quantidade de matéria orgânica presente no meio.

Lu *et al.* (1985) afirmam que a estabilização dos resíduos sólidos em um aterro sanitário pode ser separada em duas etapas biológicas principais: uma fase de degradação aeróbia e uma fase de decomposição anaeróbia, que se desenvolve uma vez que o oxigênio originalmente presente no aterro sanitário é consumido. A transformação da fase aeróbia para a fase anaeróbia pode ocorrer rapidamente após a disposição do resíduo, em alguns casos, em questões de horas, ou pode se postergar onde persistir oxigênio, por exemplo, próximo à superfície do aterro. Afirmam também que a fase de decomposição aeróbia é geralmente curta, devido à alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) dos resíduos e função do oxigênio presente em um aterro.

Chernicharo (1997) descreve o processo de biodegradação em aterros de resíduos sólidos como semelhante ao processo de digestão em reatores anaeróbios para tratamento de águas residuárias.

Williams (2002) apresenta os conceitos e descreve as cinco fases (Figura 2.1) de degradação dos resíduos sólidos:

- Fase I: *Degradação aeróbia ou Hidrólise*: ocorre em condições aeróbias, sendo uma fase rápida podendo durar dias ou semanas, dependendo da disponibilidade de oxigênio.

Os microrganismos são do tipo aeróbios, os quais utilizam o oxigênio disponível para decompor uma fração orgânica dos resíduos em produtos mais simples como: hidrocarbonetos, dióxidos de carbonos, água e calor. O calor gerado pela reação de degradação (exotérmica) pode causar um aumento considerável na temperatura dos resíduos. A água e o ácido carbônico são os principais produtos, com geração de dióxido de carbono, que é liberado como gás ou absorvido pelo resíduo para formar ácido carbônico que aumentam a acidez dos líquidos percolados. Os líquidos percolados produzidos durante esta fase inicial são provavelmente resultados de umidade aterrada com o lixo durante a compactação e construção das células.

- Fase II: *Hidrólise e Fermentação*: Os microrganismos presentes nesta fase são facultativos, que podem tolerar a condição de redução do oxigênio.

Hidrocarbonetos, proteínas e lipídios, que são os maiores componentes do bioreator, são hidrolisados para açúcares, que favorecem a decomposição do dióxido de carbono, hidrogênio, amônia e ácidos orgânicos. Os líquidos percolados gerados contêm nitrogênio amoniacal em alta concentração. Os ácidos orgânicos são principalmente: acético, propiônico, butírico, lático e fórmico e ácido derivados. A temperatura varia entre 30 e 50°C durante esta fase. As concentrações de DQO variam na faixa de 480 a 18.000 mgO₂/L e ácidos orgânicos voláteis na faixa de 100 a 3.000 mg/L podem ser encontradas nos líquidos percolados.

- Fase III: *Acetogênica*: o ácido orgânico formado na fase II é convertido por microrganismos acetogênicos para ácido acético e derivados, dióxido de carbono e hidrogênio durante as condições anaeróbias. Outros organismos convertem hidrocarbonetos diretamente para ácido acético na presença de dióxido de carbono e hidrogênio. As condições ácidas desta fase aumentam a solubilização dos íons metálicos e aumentam as concentrações no lixiviado. A presença de ácidos orgânicos em geral deixa o pH na faixa de 4 ou menos. Altas concentrações de DBO₅ na faixa de 1.000 a 57.700 mg O₂/L, DQO de 1.500 a 71.100 mg O₂/L, ocorrem durante esta fase.

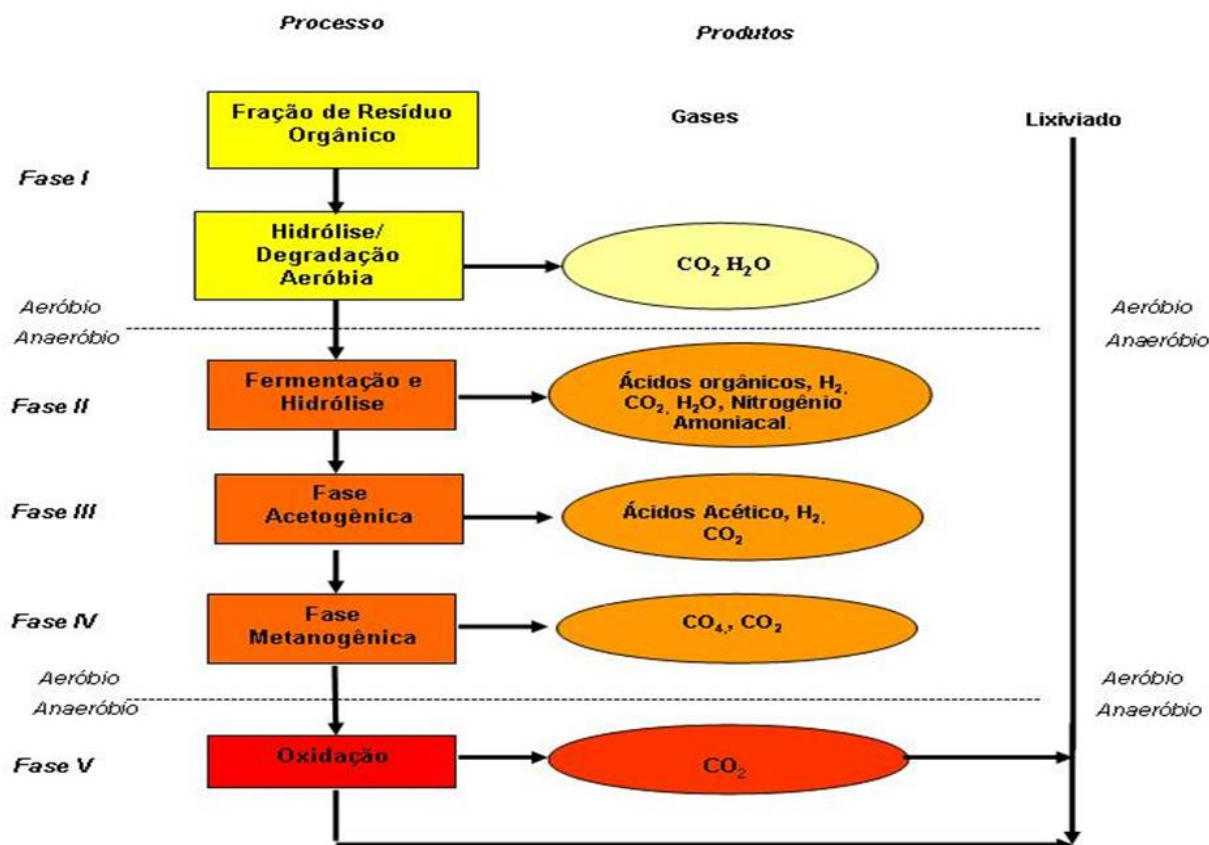


Figura 2.1: Fases de Degradação dos Resíduos Sólidos
 Fonte: WILLIAMS (2002)

- Fase IV: Metanogênica: Esta é a principal fase da produção de gás, onde gera aproximadamente 60 % de metano e 40 % de dióxido de carbono. Níveis baixos de hidrogênio são requeridos para manter os organismos, as bactérias metanogênicas, que geram dióxido de carbono e metano. O metano pode ser também resultado direto da conversão por microrganismos do hidrogênio e dióxido de carbono para metano e água.

Existem dois tipos de microrganismos envolvidos desta fase, as bactérias mesofílicas, que são ativadas na faixa de temperatura de 30°C a 35°C e as bactérias termofílicas, que são ativadas na faixa de temperatura de 45°C a 65°C. Como as concentrações de ácidos caem, a faixa de pH sobe entre 7 a 8. Esta fase pode ser a mais longa ocorrida no aterro, variando entre seis meses até vários anos. Concentrações significantes de metano são geradas entre 3 e 12 meses, dependendo do desenvolvimento dos microrganismos e dos produtos da degradação dos resíduos. A produção de gás pode continuar por um período entre 15 e 30 anos depois da deposição dos resíduos sólidos, dependendo dos resíduos e das características locais do aterro.

Nesta fase, sulfatos e nitratos são reduzidos para sulfitos e amônia, e as concentrações de DBO₅ e DQO declinam. Alguns metais são removidos por complexação e precipitação.

- Fase V: Oxidação: Ocorre durante o estágio de estabilização final no aterro, os nutrientes e substratos disponíveis tornam-se limitados e a atividade biológica é reduzida. A produção de gás diminui e os líquidos percolados permanecem com concentrações mais baixas.

2.3. Considerações Gerais do Percolado

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2004) define lixiviado como “líquido produzido pela decomposição de substância contida nos resíduos sólidos, que tem como característica a cor escura, o mau cheiro e a elevada DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); constitui-se numa mistura de substâncias inorgânicas, compostos em solução e em estado coloidal e diversas espécies de microrganismos”.

De acordo com Rocha (2005), o resíduo líquido gerado da decomposição da matéria putrescível é denominado *chorume*, sendo também é conhecido por *lixiviado* ou *percolado*. Para alguns autores, todas as denominações para o resíduo líquido proveniente desta decomposição são iguais. Porém para outros, o chorume é o líquido proveniente apenas da decomposição da matéria orgânica presente no lixo, e, os lixiviados e/ou percolados são a solução do lixiviado e águas pluviais e do subsolo (fontes) carreando materiais dissolvidos ou suspensos, que fluem pela massa de lixo após atingir sua capacidade de campo ou de retenção.

Torres *et al.* (1997) definem o percolado como sendo um líquido originado em locais como aterros sanitários ou lixões, proveniente da água pluvial que cai sobre essas áreas, da decomposição e da umidade dos resíduos sólidos que drenam e percolam através dos interstícios e das camadas de lixo, proporcionando, dessa forma, uma série de reações e processos físico-químicos e biológicos de degradação. O chorume é o líquido resultante da decomposição dos resíduos orgânicos biodegradáveis, enquanto, o percolado ou lixiviado consiste na mistura do chorume com a água, normalmente águas de chuvas.

O percolado ou lixiviado consiste na solução resultante da mistura do líquido proveniente da decomposição da matéria orgânica presente no resíduo, fontes de água externa (chuvas) e interna (subsolo), que, ao atingir a capacidade de campo do lixo, flue pelas camadas do aterro.

2.4. Origem e Formação do Percolado

Segundo Segato *et al.* (2000), o percolado é formado pela digestão de matéria orgânica sólida, por ação de exo-enzimas produzidas por bactérias. A função dessas enzimas é solubilizar a matéria orgânica para que possa ser assimilada pelas células bacterianas. A umidade tem grande influência na formação do lixiviado já que um elevado teor de umidade favorece a decomposição anaeróbia. A produção de lixiviado depende das condições peculiares de cada caso, principalmente da topografia, geologia, regime e intensidade das chuvas.

O percolado é formado quando a matéria orgânica dos resíduos sólidos sofre decomposição, podendo ser de dois tipos: anaeróbia, quando a massa de lixo está recoberta e bem compactada com argila, e, aeróbia, quando a massa de lixo esta em contato com o ar, ou por ausência de recobrimento ou pela má compactação da camada de cobertura (LINS, 2003).

De acordo com Bidone e Povinelli (1999), a decomposição anaeróbia é lenta, gerando alguns subprodutos como amônia, ácidos orgânicos e gases, como o gás sulfídrico. Mas, estando a matéria orgânica em contato com ar, começa a sofrer um processo de oxidação, iniciando a degradação progressiva do material, gerando alguns subprodutos como gás carbônico, sais minerais de nitrogênio, fósforo, potássio, dentre outros. Guimarães (2000) cita que este processo é acelerado pela presença de bactérias aeróbias que ajudam a deterioração do material.

Segundo Leckie *et al.* (1979) *apud* Rocha. (2005), alguns fatores são relevantes para geração do percolado como: precipitação anual (intensidade, duração e frequência); escoamento superficial (topografia, camada de cobertura, vegetação, permeabilidade); infiltração, evaporação, transpiração, temperatura ambiente, umidade inicial, composição e densidade do resíduo, e a profundidade do aterro.

As águas da chuva, bem como de nascentes, percolam através do lixo e carregam lixiviado e a matéria orgânica dando origem ao líquido percolado (SEGATO e SILVA, 2000). Segundo Farquhar (2005), o percolado é produzido, no aterro, quando a umidade penetra no lixo, extraindo os contaminantes na fase líquida, e assim, produzindo um volume suficientemente alto para iniciar o fluxo do líquido. Rocca *et al.* (1993), citam que o volume de lixiviado é representado como os fenômenos físicos da percolação em um maciço homogêneo constituído por um material poroso. Da água que precipita sobre o aterro, parte é devolvida à atmosfera pela evapotranspiração, parte escoada superficialmente

e o restante se infiltra, podendo ficar retida na camada de cobertura ou produzir um fluxo de percolação quando for atingida a saturação desta camada. A Figura 2.2 mostra o fluxo da água em um aterro sanitário.

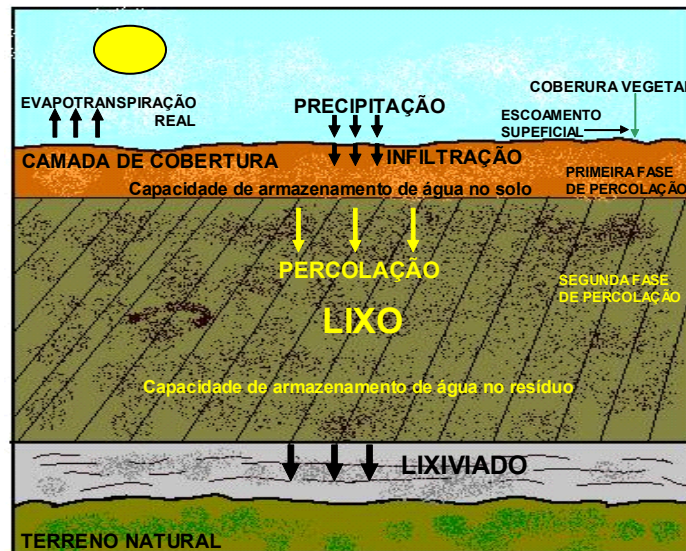


Figura 2.2: Fluxo da água em um aterro sanitário.
Fonte: ADAPTADO DE ROCCA *et al.*(1993).

O potencial de formação do percolado pode ser determinado através do balanço hídrico no aterro. O balanço corresponde à soma de quantidades que entram e à subtração de quantidades de água que são consumidas nas reações químicas, e à quantidade de água que deixa o aterro como vapor. O potencial, portanto, corresponde à quantidade de água que excede a capacidade de retenção de umidade da massa aterrada (HAMADA e MATSUNAGA, 2000).

No balanço hídrico de um aterro, além do teor de umidade, presente no lixo a ser confinado e no material de cobertura, deve-se prever a infiltração de água superficial, e as perdas de água na formação do biogás, como vapor d'água saturado, assim como, na evaporação e na drenagem do percolado. Assim, após o cálculo da variação da quantidade de água armazenada no interior do aterro e, considerando-se a capacidade de campo, ou seja, a capacidade de retenção de água submetida ao empuxo gravitacional, pode-se estimar a produção do lixiviado (CHENICHARO, 2003).

De acordo com El-Fadel *et al.* (2001), o processo de formação do percolado é influenciado por fatores que podem ser divididos em dois: os que contribuem diretamente com a umidade do aterro (chuva, água subterrânea, conteúdo de umidade inicial, recirculação, líquido co-disposto ao lixo e a decomposição do mesmo) e aqueles que afetam ao percolado ou a distribuição de umidade dentro do aterro (idade do lixo, pré-tratamento, recalque, material utilizado na parede lateral do aterro, compactação,

permeabilidade, tamanhos das partículas densidade, vegetação, cobertura, geração e transporte de calor e gás).

2.5. Características, Composição do Percolado.

Torres *et al.* (1997) citam que, do ponto de vista de qualidade, o lixiviado apresenta altas concentrações de matéria orgânica, bem como quantidades consideráveis de substâncias inorgânicas (metais pesados). A quantidade de líquido lixiviado produzido em um aterro sanitário depende de vários fatores como: condições meteorológicas do local (umidade, precipitação, evaporação, temperatura e ventos); geologia e geomorfologia (escoamento superficial e/ou infiltração subterrânea, grau de compactação e capacidade do solo em reter umidade); condições de operação do aterro (conformação e cobertura das células, grau de compactação dos resíduos, tipo de equipamento, recirculação do percolado); idade e natureza dos resíduos sólidos (tipo, umidade, nível de matéria orgânica, características); topografia (área e perfil do aterro); qualidade e quantidade de recicláveis e hábitos da população. A composição do líquido lixiviado geralmente muda de um aterro para outro em função da qualidade e características dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Este efluente, considerado complexo, pode conter compostos orgânicos (ácidos orgânicos, substâncias húmicas, solventes, alcoóis, fenóis, compostos aromáticos, pesticidas, entre outros), metais potencialmente tóxicos (Cd, Zn, Cu, Pb) e muitos outros íons (NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , S^{2-} , HCO_3^- , etc.). A composição do lixiviado varia em função do tipo de solo utilizado como cobertura dos resíduos, do tipo de lixo depositado, das condições climáticas, da época do ano e da hidrogeologia e da idade do aterro. Lixiviados de aterros antigos são caracterizados por possuírem uma grande quantidade de moléculas orgânicas persistentes, altos índices de Demanda Química de Oxigênio (DQO), amônia e alcalinidade e baixas biodegradabilidade e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (MORAES, 2004).

Russo e Vieira (2000) comentam que as cargas poluentes dos lixiviados (percolados) são compostas por substâncias orgânicas, cuja determinação é feita através de parâmetros como: DBO₅, DQO, Carbono Orgânico Total (COT), por compostos iônicos como: NO_3^- , NH_4^+ e NH_3 e finalmente por substâncias inorgânicas halogenadas como HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Cl^- e Ca^{2+} .

Um aterro recebe na sua maioria resíduos domiciliares, como: matéria orgânica, macrocomponentes inorgânicos e metais pesados. Christensen e Kjeldsen (1989) empregam a seguinte classificação, em função do estágio de estabilização dos percolados:

- Percolados jovens com a alta carga orgânica: valores de DQO maiores que 20.000 mg/L, alto conteúdo de metais (até 2000mg/L) e biodegradabilidade média ($DBO_5/DQO > 0,65$);
- Percolados estabilizados com baixa carga orgânica: valores de DBO menores a 2.000mg/L, baixo conteúdo de metais (menos de 50 mg/L) e biodegradabilidade muito fraca ($DBO_5/DQO < 0,1$);
- Percolados com características intermediárias aos anteriores.

Chenicharo (2003), conclui que, em decorrência da enorme heterogeneidade da composição dos resíduos sólidos urbanos, as concentrações dos diversos poluentes nos líquidos lixiviados podem se encontrar em uma ampla faixa, usualmente estimadas para diferentes idades de aterro. É possível verificar a faixa de variação dos parâmetros físico-químicos do percolado na Tabela 2, conforme consulta no site do Ministério do Meio Ambiente (www.mma.org.br).

Se o lixiviado é coletado durante a fase ácida, quando o aterro é jovem e não atingiu a fase estável de fermentação anaeróbia, o pH é baixo e as concentrações de DQO e COT são muito altas. Durante a fase metanogênica (depois de 1 a 4 anos), as concentrações de DQO e COT diminuem e aumenta, paulatinamente, a concentração de nitrogênio amoniacal até chegar a valores de 4.000 mg/L. (SAGATO, 2000).

A Figura 2.3 apresenta a variação da concentração de lixiviado em função do tempo, onde o lado esquerdo das curvas se aplica às concentrações dos resíduos mais novos, enquanto o lado direito seriam as concentrações produzidas pelos resíduos mais antigos. Isto seria a média das diferentes seções do aterro onde foram depositados resíduos de diferentes idades. Deve-se ressaltar então, que após o aterro ser fechado à produção de lixiviados contaminantes ainda permanece por muitos anos. (FARQUHAR, 1988 *apud* SEGATO e SILVA, 2000).

Autores como Tchobanoglous *et al.* (1993) e Ehrig (1989) *apud* Lins (2003), mostram que, o percolado de um aterro varia entre as fases de degradação e as diferenças

de idades. Abaixo, se exemplifica, na Tabela 3, as concentrações típicas presentes no percolado com diferentes idades.

Tabela 2: Variação de Propriedades e Concentração de Substâncias do Lixiviado

Parâmetro	Faixa	Faixa de variação
pH		4,5 – 9
Sólidos totais		2000 – 60 000
Matéria orgânica (mg/L)		
Carbono orgânico total		30 – 29 000
Demanda biológica de oxigênio (DBO ₅)		20 – 57 000
Demanda química de oxigênio (DQO)		140 – 152 000
DBO ₅ /DQO		0,02 - 0,80
Nitrogênio orgânico		14- 2500
Macrocomponentes inorgânicos (mg/L)		
Fósforo total		0,1 – 23
Cloretos		150 – 4500
Sulfatos		8-7750
Sódio		70-7700
Potássio		50-3700
Nitrogênio amoniacal		50-2200
Cálcio		10-7200
Magnésio		30-15 000
Ferro		3-5500
Manganês		0,03-1400
Sílica		4-70
Elementos traços inorgânicos (mg/L)		
Arsênio		0,01-1
Cádmio		0,0001-0,4
Cromo		0,02-1,5
Cobalto		0,005-1,5
Cobre		0,005-10
Chumbo		0,001-5
Mercúrio		0,00005-0,016
Níquel		0,015-13
Zinco		0,03-1000

Fonte: www.mma.org.br/noticias

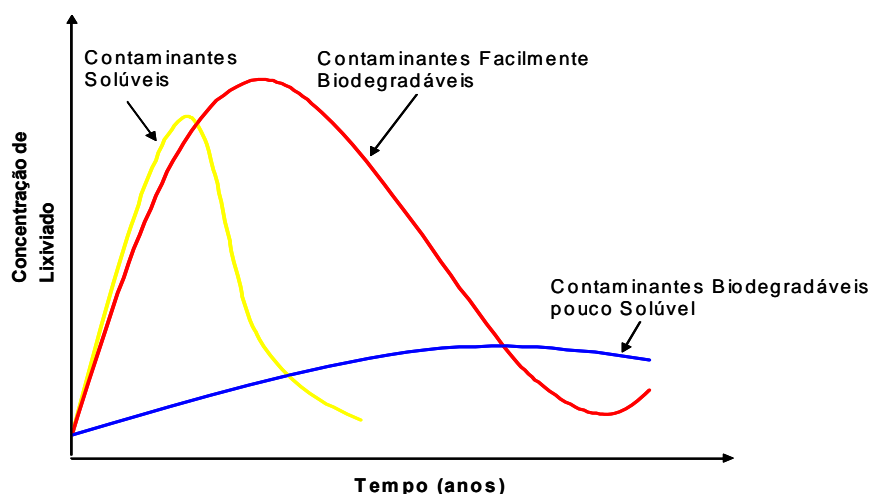


Figura 2.3: Concentração dos lixiviados em relação ao tempo.

Fonte: FARQUHAR (1988) *apud* SEGATO e SILV, (2000).

De acordo com Hamada (1997), quando a água percola através da massa de lixo aterrada, que está em decomposição, material biológico e componentes químicos são carregados para a solução. A composição química do lixiviado varia muito, dependendo da idade do aterro e dos eventos que ocorreram antes da amostragem.

Tabela 3: Dados típicos da composição do lixiviado para aterros novos e antigos.

Características	Valores (mg/L)	
	Aterros Novos (menos 2 anos)	Aterros Antigos (mais de 10 anos)
DBO5	2.000-30.000	100-200
DQO	3.000-60.000	80-160
Sólidos Suspensos Totais	200-2.000	100-400
Nitrogênio orgânico	10-800	80-120
Nitrogênio amoniacal	10-800	20-40
Nitrato	5-40	5-10
Fósforo Total	5-100	5-10
Alcalinidade (CaCO ₃)	1.000-10.000	200-1.000
pH	4,5-7,5	6,6-7,5
Alcalinidade como CaCO ₃	1.000-10.000	200-1.000
COT (carbono orgânico total)	1.500-20.000	80-160
Dureza total como CaCO ₃	300-10.000	200-500

Fonte: Adaptação de TCHOBANOGLIOUS *et al.* (1993) *apud* HAMADA (1997).

2.6. Degradabilidade dos Lixiviados

A biodegradabilidade do lixiviado varia com o tempo e pode ser determinada pela relação DBO₅/DQO. Inicialmente (em aterros novos) essa relação situa-se em torno de 0,5 ou maior (relações entre 0,4 e 0,6 são indicadores de boa biodegradabilidade). Em aterros antigos, a mesma relação situa-se normalmente na faixa entre 0,05 e 0,2. Como resultado dessa variação nas características do lixiviado, o projeto de sistemas de tratamento é considerado bastante complexo (SANTOS, 2003).

Segundo Silva (2002), à dificuldade ou impossibilidade de degradação de certas substâncias químicas associa-se o termo recalcitrância. Como os microrganismos são os principais agentes dos processos de degradação e reciclagem de nutrientes, sua incapacidade de degradar ou transformar essas substâncias é o indício de sua recalcitrância ou persistência no meio ambiente. A recalcitrância está associada à presença de compostos de elevada massa molecular com estruturas muito complexas, como é o caso das substâncias húmicas.

Baig *et al.* (1997), citados por Santos *et al.* (2003), sugerem que valores inferiores a 0,25 da relação DBO₅/DQO indicam uma baixa biodegradabilidade do efluente. A manutenção da DQO afluente, mesmo após o tratamento, em valores elevados indicaria que os materiais orgânicos são recalcitrantes e não facilmente sujeitos à oxidação química.

Segundo a CETESB (1995), um lixiviado ou percolado com relação DBO_5/DQO maior que 0,5, o teor de material orgânico biodegradável é elevado, caracterizando-o de fácil biodegradabilidade, o que possibilita o seu tratamento por processos biológicos. Quando esta relação encontra-se entre 0,1 e 0,5, o percolado é classificado como um efluente medianamente biodegradável, sendo o tratamento biológico satisfatório e quando esta relação apresenta valores inferiores a 0,1, será um efluente de difícil biodegradabilidade, indicando a impossibilidade do tratamento por processos biológicos.

As mudanças na biodegradabilidade do percolado são refletidas na relação DBO_5/DQO . A DBO_5 é diretamente calculada da tratabilidade do lixiviado pelo processo biológico. Todavia, existe uma quantidade significativa de material inerte biologicamente nos aterros velhos, como indicado pela baixa relação DBO_5/DQO ou pela larga diferença entre os valores de DBO_5 e DQO (LO, 1996).

A relação DBO_5/DQO tende a crescer com o aumento da idade do aterro em função da redução da fração orgânica que mais rapidamente é degradada, podendo ser um indicativo que processos biológicos seriam cada vez menos efetivos para o tratamento de lixiviado (HENRY, 1987 *apud* SANTOS, 2003). Berrueta *et al.* (1996) avaliaram a biodegradabilidade de lixiviado de aterro antigo (12 anos) detectando que apenas 40-50% do material orgânico seria biodegradável.

Segundo Tchobanoglous *et al.* (1993), se uma amostra é coletada durante a fase ácida de decomposição, o pH dever ser baixo e as concentrações de DBO_5 , COT, DQO , nutrientes e metais pesados serão altas. Se, por outro lado, a amostra é coletada durante a fase metanogênica, o pH deverá ser entre 6,5 e 7,5 e DBO_5 , COT, DQO e nutrientes serão significativamente baixos, bem como os metais pesados, pois são menos solúveis em pH neutro.

Aterros antigos geralmente encontram-se em fase metanogênica e sob esta condição apresentam DQO na faixa de 1500 a 4000 mgO_2/L , tendendo a consumir rapidamente os ácidos graxos voláteis (AGV), convertendo-os em biogás no próprio aterro (WELANDER *et al.*, 1988 *apud* SANCINETTI *et al.*, 2001), restando compostos orgânicos de alto peso molecular, de difícil tratamento por via biológica, como ácidos fúlvicos e húmicos (FORGIE, 1988 *apud* SANCINETTI *et al.*, 2001).

A determinação dos sólidos voláteis, também é uma das metodologias usadas, para descrever a biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos. A Tabela 4 apresenta, em percentagem, a fração biodegradável e a difícil biodegradabilidade dos componentes dos resíduos sólidos municipais em termos de sólidos voláteis. A fração de difícil

biodegradabilidade está representada pela lignina, que é um composto que une as fibras de celulose presente nas paredes dos vegetais, como a madeira (TCHOBANOGLIOUS *et al*,1993).

Tabela 4: Biodegradabilidade dos constituintes orgânicos presentes nos resíduos sólidos municipais.

Componente do Resíduo Sólido	Lignina % SV	Fração Biodegradável % SV
Resto de comidas	0,4	0,82
Jornal	21,9	0,22
Papel de escritório	0,4	0,82
Papelão	12,9	0,47
Resto de jardim	4,1	0,72

Fonte: adaptação de TCHOBANOGLIOUS *et al.*(1993) - **SV:** sólidos voláteis

2.7. Problema Ambiental e Tratabilidade do Lixiviado

Constitui fator de grande preocupação atualmente o crescente aumento da poluição ambiental. A cada dia nossos recursos hídricos tornam-se menos disponíveis. A consciência da preservação do meio ambiente saudável constitui-se numa das premissas básicas para a qualidade de vida. A preservação dos recursos naturais é imprescindível para a vida das gerações futuras. As principais fontes de contaminação dos recursos hídricos ocorrem devido a esgotos sem tratamento, garimpo, defensivos agrícolas lançados em rios, lagos e canais. Por sua vez o chorume de aterros sanitários pode afetar os lençóis freáticos (MACEDO, 2001 *apud* SILVA, 2005).

O lançamento de qualquer tipo de efluente no meio ambiente é regulamentado pelos órgãos ambientais e de saúde pública. Qualquer que seja o destino do rejeito deve passar por algum tipo de tratamento e se adequar aos requisitos para disposição final no ambiente a que se destina.

Capelo Neto (1999), afirma que com a crescente conscientização a respeito da disposição correta dos resíduos sólidos em aterros sanitários, cresceu também a necessidade de se conhecer melhor as formas de tratamento do lixiviado, para que elas não só atendam a legislação ambiental vigente, mas também, contribuam para não sobrecarregar os recursos hídricos disponíveis. O autor lembra ainda que, a água é um bem escasso e de primeira necessidade, principalmente na região do semi-árido nordestino, e que, nenhum esforço é demais quando se tenta proteger os recursos hídricos existentes do potencial poluidor do lixiviado.

Do ponto de vista ambiental, a preocupação desses sistemas reside, principalmente, no gerenciamento dos efluentes líquidos, seja na forma de lixiviado ou de águas do escoamento superficial. Quanto ao lixiviado, a maioria desses sistemas não dispõe de um sistema efetivo de drenagem e tratamento. Quanto à drenagem subsuperficial, normalmente verificam-se volumes de lixiviado muito abaixo daquele previsto em projeto, normalmente pelo balanço hídrico clássico. O lixiviado assim obtido normalmente é encaminhado para lagoas de tratamento que não receberam a devida impermeabilização ou são simplesmente recirculados a partir de poços de sucção ou tanques de armazenamento (HAMADA, 2000).

No Brasil, segundo JUCÀ (2003), as técnicas utilizadas para tratamento do Lixiviado *in situ*, como Lagoas Biológicas e Recirculação, apresentam limitações, assim como, o tratamento conjugado com esgotos domésticos. As lagoas exigem grandes áreas e não removem contaminantes que poluem os corpos receptores (com nitrito, nitrato, amônia, metais pesados, etc.), enquanto, a recirculação exige controle da umidade ou grau de saturação do lixo, pois, em épocas de chuvas, o aterro poderá atingir o limite de sua capacidade. Em relação às estações de tratamento de esgotos, as mesmas não estão dimensionadas e nem adequadas às características peculiares do lixiviado.

Os lixiviados mais antigos nem sempre têm dificuldade para ser tratado. Mesmo os lixiviados mais jovens podem apresentar problemas operacionais para sistemas biológicos de tratamento, em função da variabilidade de suas características físico-químicas, das altas cargas biológicas, das altas concentrações de metais alcalinos e pesados, compostos halogenados, nitrogenados e deficiências nutricionais.

Diversas técnicas podem ser empregadas para manejo do lixiviado coletado dos aterros, entre as quais são destacados por TCHOBANOGLIOUS *et al.* (1993): a) Recirculação; b) Evaporação; c) Tratamento seguido de disposição e d) Disposição em estações de tratamento de esgoto domésticos.

Mata-Alvarez (2002), *apud* Rocha (2005), cita que dentre os tratamentos biológicos, a digestão anaeróbia vem se mostrando eficiente, contudo apresenta elevado custo de implantação inicial. Todavia esse investimento é readquirido pela sua característica de geração de energia e impactos ambientais limitados (em particular, sua limitada contribuição para o efeito estufa)

Moraes (2004) diz que, no Brasil, o lixiviado produzido é tratado por meio de aspersão do mesmo sobre a superfície do aterro (método da recirculação), tratado via oxidação biológica ou levado por caminhões-pipa até Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) onde, após tratamento microbiológico, é lançado juntamente com o esgoto nos

cursos d'água. Entretanto, os tratamentos biológicos possuem algumas limitações, tais como a susceptibilidade à variação do efluente, presença de compostos persistentes e substâncias tóxicas, a ocupação de grandes áreas de instalação e eficiência limitada para a remoção de cor, demandando muitos dias para que o efluente alcance os valores dos parâmetros de degradabilidade legalmente aceitáveis.

Segundo TCHOBANOGLIOUS *et al.* (1993), o lixiviado contém concentrações elevadas de sólidos dissolvidos totais (SDT) (em torno de 50.000 mg/L) e de metais pesados, sendo difícil tratar biologicamente. Já, os valores altos de DQO favorecem os tratamentos anaeróbios. Outrossim, as altas concentrações de sulfatos limitam o uso dos processos anaeróbios devido à produção de odores provenientes da redução biológica do sulfato para sulfeto.

As tecnologias aplicáveis ao tratamento de lixiviado são similares ao tratamento de esgotos domésticos. Assim, os métodos de dimensionamento serão análogos àqueles utilizados no tratamento desses esgotos, resguardando as diferenças, que são observadas ao analisar os parâmetros de composição do lixiviado, pois este efluente apresenta concentrações bem mais altas que àquelas referentes ao esgoto doméstico (IPT/CEMPRE, 2000).

2.8. Processos de Tratamento do Lixiviado

2.8.1. Evaporação

É um processo de destinação do lixiviado que pode ser considerado para regiões em que as condições climáticas favorecem a evaporação, sendo uma técnica que utiliza tanques abertos para evaporação do lixiviado. A ocorrência de aumento da concentração de sais solúveis tais como, cloreto de sódio, pode inibir total ou parcialmente a ação microbiana sobre o resíduo não evaporado (SILVA, *et al* 2002). Existem outras técnicas de evaporação forçada que incluem a elevação da temperatura do lixiviado. Sendo indicadas, neste caso, para regiões com alta pluviosidade com a utilização de tanques fechados.

2.8.2. Recirculação

Este método de tratamento baseia-se na atividade de microrganismos anaeróbios, os quais degradam a matéria orgânica gerando produtos combustíveis, como o gás metano e o hidrogênio, além de reduzir o volume dos resíduos. Outro benefício é que a fração orgânica

estabilizada pode ter valor econômico como condicionador de solos (SALGADO *et al.*, 2003).

Ferreira *et al.* (2001) relatam que a recirculação diminui, significativamente, o volume do lixiviado em função da evaporação, que é favorecida pelas condições ambientais (temperatura ambiente, ventos, radiação solar, etc.), sendo indicada para países localizados em regiões tropicais, como é o caso do Brasil. Pessin *et al.* (2000) dizem que é possível que a recirculação de líquidos favoreça ainda os processos físicos, químicos e físico-químicos associados à neutralização, adsorção e precipitação das espécies inorgânicas presentes nos líquidos.

Garb *et al.* (2000), Lee *et al.* (2001) e San & Onay (2001) *apud* Salgado (2003), sugerem a recirculação do lixiviado como alternativa para acelerar o início da degradação dos resíduos sólidos urbanos e aumentar a taxa de produção de metano.

Hamada *et al.* (2002) citam que, durante a fase ácida, a recirculação do lixiviado pode promover a dissolução de grandes quantidades de metais, resultando na inibição das atividades microbiológicas, e, portanto da degradação da matéria orgânica.

Deve ficar claro que a recirculação de lixiviado não elimina o seu tratamento final, visto que suas características, em termos de concentração de contaminantes, ainda permanecem inadequadas para o lançamento no corpo receptor. Porém esta estratégia pode retardar a implantação de sistemas de armazenamento e tratamento, além de permitir a redução no porte das unidades de tratamento (HAMADA *et al.*, 2002).

2.8.3. Processos Físico-químicos

Os processos físicos e químicos (precipitação e coagulação, troca iônica, adsorção de carvão, oxidação química e osmose reversa), são indicados para o tratamento do lixiviado de aterros “velhos”, devido à baixa concentração de carbono orgânico, ou então, para efluentes inicialmente tratados biologicamente (QASIM e CHIANG, 1994).

Silva *et al.* (2000), comentam que os processos físico-químicos são importantes para tratamento de lixiviado, em virtude da elevada eficiência que se podem alcançar, mesmo considerando as elevadas cargas orgânicas, características do lixiviado. É uma técnica viável para aterros controlados, os quais apresentam relação área/volume pequeno, em que se verifica baixa produção volumétrica de lixiviado e menor consumo de produtos químicos.

2.8.4. Processos Biológicos

A grande maioria dos sistemas de tratamento biológico, tanto de águas residuárias quanto de lixiviado de aterros sanitários, usam os mecanismos aeróbios, distinguindo-se os sistemas com lodo em suspensão (lodos ativados, valo de oxidação, lagoa aerada) e com leito fixo (filtro biológico). No entanto, nos últimos anos vem ocorrendo um interesse crescente pela aplicação do tratamento anaeróbio para o tratamento de efluentes líquidos (REICHERT, 2000).

Van Haandel e Lettinga (1994), *apud* Reichert (2002), descrevem as diferenças fundamentais entre o metabolismo oxidativo (aeróbio) e a digestão anaeróbia. Na Tabela 5 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios em relação aos processos aeróbios.

Tabela 5 - Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios em relação aos processos aeróbios

Vantagem	Desvantagem
Baixa produção de sólidos;	As bactérias anaeróbia são susceptíveis a inibição por um grande número de compostos;
Baixo consumo de energia, usualmente;	A partida do processo pode ser lenta na ausência de semente adaptada;
Associado a uma elevatória de chegada;	A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas
Custos operacionais muito baixos;	Possibilidade de geração de maus odores
Baixos custos de implantação;	Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável;
Produção de metano;	Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária
Possibilidade de preservação da biomassa sem alimentação do reator, por vários meses;	Remoção de nitrogênio, fósforo e patogênicos insatisfatórios.
Baixo consumo de nutrientes;	
Baixa demanda de área.	
Tolerância em pequena e grande escala;	

Fonte: CHERNICHARO, 1997.

2.8.4.1. Anaeróbios

Uma alternativa economicamente viável aos sistemas mais elaborados de tratamento de esgotos domésticos é o tratamento anaeróbio. Embora eficiente em termos de remoção de matéria orgânica, apresenta problemas, entre outros, relacionados com o conteúdo de nitrogênio e fósforo no seu efluente que acarretam obstáculos para a sua disposição final em corpos d'água (CYBIS, 2000).

a) Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente - RAFA (UASB)

Constitui-se na mais eficiente unidade anaeróbia desenvolvida para tratamento de efluentes e consiste em unidade de crescimento suspenso e fluxo ascendente em que a velocidade ascensional mantém o lodo em suspensão, contrabalançando a força gravitacional, de modo que, a água residuária atravessa a lâmina de lodo, mantendo um contato íntimo com a microbiota anaeróbia (FLECK, 2003).

Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (UASB), Figura 2.4, tem como parâmetros de processo o controle de tempo de detenção de sólidos, tempo de detenção hidráulico, as cargas volumétricas orgânicas e hidráulicas e a velocidade ascensional. A massa de sólidos na manta de lodo é parâmetro de controle do tempo de residência celular e serve para a caracterização da atividade metanogênica do processo anaeróbio (VERSIANI *et al*, 2005).



Figura 2. 4 - Reatores UASB em escala piloto
Fonte: NASCIMENTO *et al*. (2000)

b) Filtros Anaeróbios

Segundo Stefanutti (2000), o processo de tratamento de efluentes através de filtros anaeróbios tem demonstrado grande potencialidade no tratamento de esgotos sanitários, tanto pela sua facilidade construtiva, como operacional. É caracterizado por ser de baixo custo construtivo e operacional e significativa remoção de carga orgânica, entretanto, este tratamento requer um maior grau de eficiência a fim de atender os padrões da Legislação Brasileira. Neste aspecto, o pós-tratamento destes efluentes vem sendo uma alternativa viável, bastando somente o conhecimento com maior profundidade do desempenho desta associação. Entre as várias alternativas de pós-tratamento, o método de irrigação sub-

superficial (processo de valas de filtração modificada), como pós-tratamento dos efluentes de filtros anaeróbios, enquadra-se como uma das opções para o polimento destes efluentes. Pretende-se com esta associação atingir os limites recomendados para DBO (60,0 mg/L) e sólidos suspensos totais (60,0 mg/L) (Figura 2.5).



Figura 2.5: Detalhe da colocação da brita do filtro anaeróbio na base do patamar de cotas mais baixas do aterro.

Fonte: REICHERT *et al.* (2000)

2.8.4.2. Aeróbios

a) Lagoas Aeradas

Segundo Richter e Azevedo Neto (1995), a aeração ou arejamento consiste no processo pelo qual uma fase gasosa – normalmente o ar – e a água são colocadas em contato estreito com a finalidade de transferir substância voláteis da água para o ar e substâncias solúveis do ar para a água, de forma a obter-se o equilíbrio satisfatório entre os teores das mesmas.

Lagoas aeradas são classificadas como facultativas ou de mistura completa em função da densidade de potência dos equipamentos de aeração. O que diferencia uma da outra é o nível de potência instalada, isto é, as lagoas aeróbias possuem um nível de potência alto que introduz o oxigênio e impede a sedimentação dos sólidos suspensos; já nas lagoas aeradas facultativas, o nível de potência apenas introduz o oxigênio sem evitar que ocorra a sedimentação nas áreas de menor turbulência (VON SPERLING, 1996). O mesmo autor diz que a principal diferença da lagoa aerada da lagoa facultativa convencional é a forma de suprimento de oxigênio, enquanto na lagoa facultativa o oxigênio é advindo principalmente da fotossíntese, no caso da lagoa aerada o oxigênio é obtido através de equipamento denominados aeradores.

De acordo com CETESB (1995), nas lagoas aeradas o oxigênio é necessário para duas finalidades principais: responder a exigência da DBO (ação de bactérias sobre o

afluente) e para oxidar em parte a biomassa de sólidos em suspensão voláteis, presentes, inclusive a que se acumula.

SILVA (2002) afirma que a utilização de lagoas aeradas é bastante freqüente como etapa que precede a disposição final do lixiviado em estações de tratamento de esgotos, onde bons resultados de biodegradação são obtidos para lixiviados provenientes de aterros jovens.

As lagoas aeradas são utilizadas para o tratamento de lixiviado, de esgotos domésticos e de despejos industriais com elevado teor de substâncias biodegradáveis. Os fatores de maior influência na seleção desse processo são: disponibilidade de área; fonte de energia elétrica e os custos de implantação e operação (IPT/CEMPRE, 2000).

b) Lodos Ativados

É um processo no qual uma cultura heterogênea de microrganismos entra em contato com o efluente a ser tratado na presença de oxigênio. Estes microrganismos têm a capacidade de estabilizar e remover a matéria orgânica biodegradável (VON SPERLING, 1996).

O tratamento de efluentes por lodos ativados em batelada tem sido exaustivamente estudado pela comunidade científica e implantado por indústrias interessadas em beneficiar-se com as suas vantagens: flexibilidade operacional (pode-se programar o horário de desligamento dos equipamentos de aeração, para diminuir o custo de energia); economia de espaço (todas as operações – reação, decantação – podem ser realizadas em um único tanque), sendo uma boa estratégia para indústrias com produção sazonal ou descontínua durante o dia (não opera em todos os turnos) e fornece um efluente de boa qualidade e um alto grau de eficiência de remoção de matéria orgânica (TEMPS, 2000).

O mesmo autor cita que o princípio do processo de lodos ativados com operação intermitente (SBR) consiste na incorporação de todas as unidades de processos e operações normalmente associadas ao tratamento convencional de lodos ativados, quais sejam, decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária, em um único tanque (Figura 2.6). Utilizando um tanque único, esses processos e operações passam a ser simplesmente seqüências no tempo, e não unidades separadas como ocorre nos processos convencionais de fluxo contínuo. O processo de lodos ativados com fluxo intermitente pode ser utilizado também na modalidade de aeração prolongada, quando o tanque único passa a incorporar a unidade de digestão de lodo.

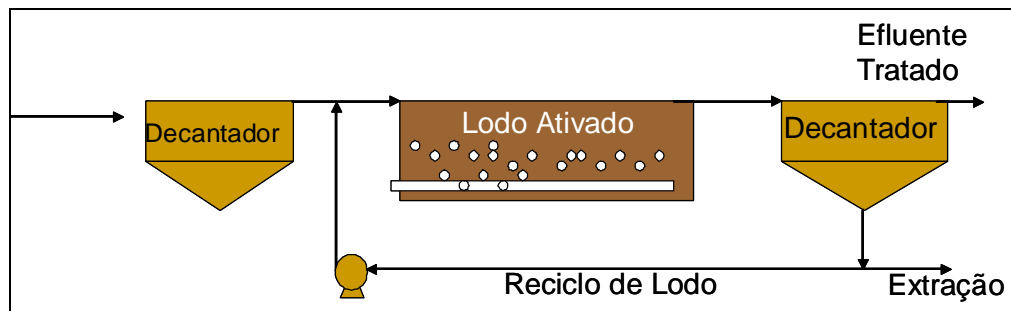


Figura 2.6: Esquema de um Sistema de Lodo Ativado

c) Filtros Biológicos

A utilização de filtros biológicos (Figura 2.7) em tratamento de lixiviado vem sendo utilizada com sucesso, principalmente no que se refere à remoção de nitrogênio amoniacal (CAMPOS *et al.*, 2003). Segundo Onay & Pohland (1998), os lixiviados gerados na fase final de estabilização do aterro são geralmente ricos em nitrogênio amoniacal devido à hidrólise e fermentação das frações nitrogenadas dos substratos biodegradáveis. Além disso, segundo os autores, em aterros onde ocorre a recirculação do lixiviado com o intuito de acelerar a decomposição dos constituintes orgânicos biodegradáveis, a concentração de nitrogênio amoniacal tende a ser bem maior que em aterros que não realizam a recirculação de lixiviado.

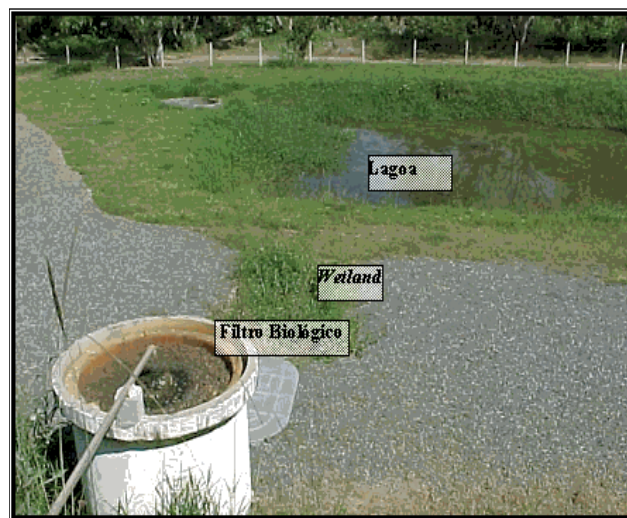


Figura 2.7: Foto de filtro biológico

Fonte: CAMPOS *et al.* (2003).

No processo de filtração biológica, o efluente líquido é aspergido sobre pedras ou suportes de plástico, onde são aderidos os microorganismos. Nestas unidades os microorganismos atuantes na estabilização da matéria orgânica estão aderidos a um leito fixo, isto é, às paredes do material do recheio, ao contrário do processo de lodo ativado, no qual se encontram em suspensão. Forma-se sobre o suporte um biofilme de natureza mista:

na parte interna, uma camada anaeróbia, na intermediária, uma mista e na parte externa, uma aeróbia. No filtro biológico há o contato direto do substrato com o ar atmosférico e com os microrganismos que se desenvolvem aderidos à superfície do meio poroso. Além da remoção de compostos orgânicos biodegradáveis, pode ocorrer a nitrificação (LUZIA *et al.*, 2005).

De acordo com Nascimento (2000), os filtros biológicos, apesar do seu grande potencial e elenco de vantagens, tem sido pouco utilizado no Brasil. Talvez a principal razão para tal seja a pouca difusão da tecnologia no meio. É de grande importância, portanto, que se aumente e se dissemine o nível de conhecimento sobre esses sistemas, como forma de viabilização da sua maior utilização. Os filtros biológicos são sabidamente sistemas de tratamento de efluentes que podem encontrar uma elevada aplicabilidade no Brasil, tendo em vista, principalmente, a sua simplicidade e baixo custo operacional. Entretanto, estes sistemas não têm encontrado uma maior disseminação no Brasil, sendo raras as unidades implantadas e atualmente em operação..

2.8.5. Processos de Separação com Membranas

Segundo Schneider e Tsutiya (2001) *Apud* Silva (2002), as membranas de microfiltração e ultrafiltração são muito eficientes para remover o material orgânico responsável pela turbidez da água, além da remoção de contaminantes biológicos. Estas membranas removem também, contaminantes que englobam todas as substâncias ou partículas não biológicas como: carbono orgânico dissolvido de baixa massa molar; substâncias solúveis que dão cor inaceitável para os padrões de consumo; toxinas solúveis de algas; metais pesados reduzidos (manganês e ferro); sais de cálcio e magnésio, que aumenta a dureza da água, etc.

Ferreira *et al.* (2001), utilizaram processos de nanofiltração e osmose inversa para tratar o lixiviado de aterros sanitários na Alemanha, conseguindo reduzir o seu volume em 75-80%, e re-injetando o concentrado no aterro.

2.8.6. Lagoas de Estabilização

Os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se na forma mais simples para tratamento de esgotos e o seu principal objetivo é a remoção da matéria carbonácea (VON SPERLING, 1996). São usualmente classificadas como: aeróbias, facultativas e anaeróbias. Esta classificação é baseada na natureza da atividade biológica e de fatores de

projeto como: profundidade, tempo de detenção, carga orgânica e a qualidade do efluente que variam para cada tipo de lagoa (QASIM & CHIANG, 1994).

Para as lagoas anaeróbias (Figura 2.8), segundo Jordão e Pessoa (1995), a estabilização ocorre pelos fenômenos de digestão ácida e fermentação metanogênica. Inicialmente, os microrganismos facultativos, na ausência de oxigênio dissolvido, transformam compostos orgânicos complexos em substâncias e compostos mais simples, principalmente ácidos orgânicos. Verifica-se, nesta fase, a produção de material celular (síntese) e compostos intermediários (gás sulfídrico e mercaptanas) e o pH reduz para valores entre 5 e 6.



Figura 2.8: Foto da Lagoa anaeróbia da ETC da Muribeca.

As lagoas facultativas se dividem nas zonas: aeróbia, na camada superior; anaeróbia, na parte inferior e intermediária, também denominada facultativa. São projetadas para operar como uma única unidade ou em seqüência à uma lagoa anaeróbia, aeróbia ou mesmo após outra unidade, (Figura 2.9).

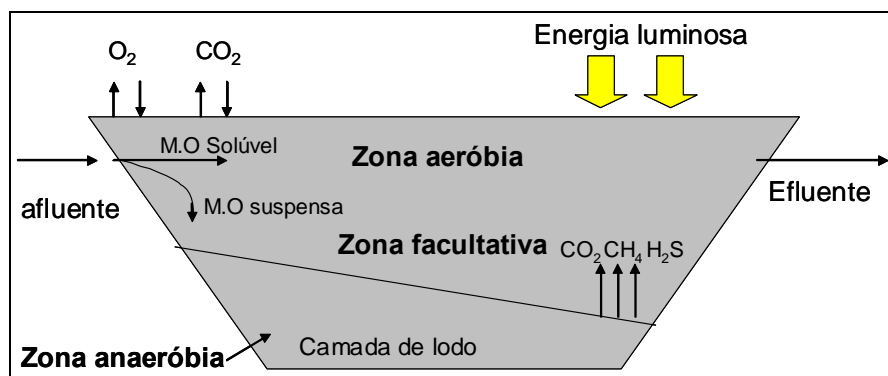


Figura 2.9: Esquema de uma lagoa facultativa

2.8.7. Processos Oxidativos Avançados (POA's)

Uma vez que os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm sido empregados com excelentes resultados na remediação de águas residuárias, efluentes industriais e substâncias orgânicas recalcitrantes, estima-se que a sua utilização, como sistemas de pré-tratamento (em relação a sistemas biológicos), possibilitará incremento significativo na remediação do lixiviado (MORAIS *et al.*, 2003).

Os Processos Oxidativos podem ser considerados como tecnologias limpas, isto porque na oxidação química não há formação de subprodutos sólidos (lodo); também não há a transferência de fase dos poluentes (como a adsorção em carvão ativo) e os produtos finais da reação são o CO₂ e a H₂O. FERREIRA *et al.* (2001) ressaltam que, alguns trabalhos na literatura destacam o uso da ozonização no tratamento de lixiviado (HUANG *et al.*, 1993; STEESEM, 1997), e que uma melhor qualidade de efluente é gerada quando se combina a ozonização com o processo biológico.

2.8.8. Wetlands

Leopoldo (2000), através do monitoramento de um sistema de recuperação de efluentes domésticos, utilizando-se da Taboa (*Typha latifolia*), Junco (*Juncus sellovianus*) e Lírio do Brejo (*Hedychium coronarium*), obtiveram-se resultados promissores, conforme relataram Conte *et al.* (1992) *apud* Leopoldo *et al.* (2000), observando que as plantas empregadas atuaram de modo eficiente na retenção de espécies químicas dissolvidas (fósforo e potássio), além de reduzir valores de DBO, DQO e material Sólido em Suspensão.

Observações similares foram relatadas por Reuter *et al.* (1992) e Rostom (1993), *apud* Rocha (2005), ressaltando o uso de plantas como alternativa no controle da carga poluidora. Utilizando o Aguapé (*Nymphaea speciosa*) para o tratamento final de efluente previamente decantado, Guimarães *et al.* (1999), *apud* Leopoldo *et al.* (2000), concluíram que o sistema oferece uma melhoria na qualidade do efluente, onde as variáveis DQO, Sólidos Dissolvidos, Sólidos Sedimentáveis e Coliformes Fecais, podem alcançar reduções de 61%, 78%, 90% e 99%, respectivamente.

2.8.9. Sistema de Barreira Bio-química

Segundo Jucá (2003), o sistema de Barreira Bio-química é um processo de tratamento *in situ* de descontaminação do lixiviado e que ocorre de três formas:

- a) contaminantes são degradados por meio da biomassa aderida ao material granular de base (biofilme);
- b) poluentes são absorvidos pelas raízes ou degradados por bactérias que nelas se alojam; em seguida, os contaminantes são armazenados ou transportados e acumulados nas partes aéreas das plantas;
- c) a barreira reativa, ao entrar em contato com o efluente, reage quimicamente promovendo a retenção de contaminantes, além de servir como uma parede (passiva) de retenção física.

2.9. Destilação Solar

2.9.1. Histórico

A destilação há muito tempo é considerada uma maneira de transformar a água salgada em água potável, em lugares remotos. Já no século IV a.C. Aristóteles descreveu um método para evaporar água imprópria e então condensá-la para poder ser ingerida. Os alquimistas árabes já usavam a destilação solar para produzir água potável no século XVI. Em 1593, o navegador “Sir” Richard Hawkins já usava a destilação solar para obter água potável da água do mar em suas viagens aos mares do sul (MALUF, 2005).

O primeiro destilador solar moderno foi construído em Las Salinas (Chile) em 1872, por Charles Wilson. Ele consistia de 64 tanques de água (num total de 4.459m²) feitos de madeira pintada de negro com coberturas inclinadas, de vidro. Essa instalação foi usada para suprir 20 mil litros por dia de água potável para animais que trabalhavam nas minas. Após a abertura da região pela chegada da ferrovia, a instalação foi sendo deteriorada até o fim de sua operação em 1912, 40 anos após sua construção. A maioria dos destiladores solares que vieram depois deste seguem basicamente seu desenho. Durante a década de 1950, o interesse em destilação solar foi reavivado, e praticamente em todos os casos o objetivo era construir grandes destiladores centralizados. Entretanto, após cerca de dez anos, os pesquisadores concluíram que a destilação solar para grandes demandas era demasiadamente custosa se comparada com sistemas baseados em combustíveis fósseis ou eletricidade (DUFFIE & BECKMAN, 1991).

2.9.2. Características do Destilador

De acordo com Pina (2004), são muitas as variações de configurações de destilador convencionais já utilizados em várias partes do mundo. Diferem entre si principalmente nos materiais utilizados, nas geometrias, nos métodos de segurar e apoiar a cobertura transparente e os arranjos para admissão e descargas de líquidos. Basicamente todos os destiladores (Figura 2.10) consistem em uma cobertura transparente que fecha um espaço situado sobre um tanque pouco profundo de algum tipo de líquido, e esta cobertura está inclinada até as bordas ao centro para que a água que se condensa na superfície interior escorra por gravidade até a calhas adjacente a periferia interna do tanque.



Figura 2.10: Foto de um destilador solar de água
Fonte: Bezerra *et al.*(2005)

2.9.2.1. Cobertura

O material usado para a cobertura transparente do destilador solar pode ser: vidros e plásticos laminados. Luiz (1985) comenta que o efeito estufa produzido pelo vidro é mais intenso do que o efeito estufa produzido pelo plástico e, além disso, quando o vapor se condensa sobre a superfície do vidro forma-se uma película contínua de água, ao passo que a condensação do vapor sobre o plástico produz gotas d'água que podem apresentar perdas de produção no gotejamento direto do destilado. Como as gotas ficam, em geral, isoladas na superfície do plástico, o uso do vidro é mais eficiente porque o líquido escorre através da película contínua formada sobre o vidro até ser recolhida nas calhas.

Então o material para a cobertura do destilador solar deve ser bastante forte para resistir a ventos, chuvas, além de não permitir a entrada de insetos e pequenos animais. Além do mais deve permitir a condensação do vapor e a conseqüente formação de uma lâmina de água que escorrerá sob ele, em vez de gotas de água (característica conhecida em

inglês como *wettability*). No caso de se formarem gotas de água, a performance do destilador será afetada, pois as gotas funcionam como pequenos espelhos que refletem a radiação solar. Além disso, parte das gotas podem cair de volta ao tanque em vez de serem coletadas.

2.9.2.2. Tanque

A seleção de um material adequado para a construção do tanque constitui um dos principais problemas na construção dos destiladores solares. A corrosão que ocorre no contato com a água é tão severa que mesmo os tanques feitos de metais protegidos por anti-corrosivos são danificados. Tanques feitos de cobre são destruídos em poucos anos. Ferro galvanizado e alumínio anodizado duram apenas alguns meses, mesmo para alumínio de construção naval. As reações químicas são aceleradas com o aumento da temperatura no tanque e assim o alumínio naval, que dura 20 anos no mar a 25°C, duraria apenas um ou dois anos a 50°C (MCCRACKEN & GORDES, 1985).

O mesmo autor comenta que a fibra de vidro foi usada em vários experimentos, mas se mostrou um material, além de caro, inútil para a confecção de partes de destiladores solares que entram em contato com a água. Resinas de Poliester e Epoxy dão gosto e cheiro à água por meses ou mesmo anos, o que não é solucionado nem pela adição de revestimentos de acrílico. Além disso, com a variação de umidade e temperatura, os destiladores de fibra de vidro desenvolvem trincas ao longo dos anos. O aço inoxidável também já foi tentado, mas o resultado foi bastante ruim. Uma boa alternativa é alumínio revestido com borracha de silicone. A durabilidade de tanques feitos com esse material vai de 10 a 15 anos.

2.9.2.3. Suportes

Os suportes da cobertura de vidro podem ser feitos de madeira, metal, ou pela própria estrutura de concreto. A madeira tem a vantagem de ser facilmente trabalhada e de não exigir mão de obra muito especializada, mas se deteriora facilmente, principalmente sob condições de alta umidade e temperatura. No caso de metais eles ficam sujeitos à corrosão, mas por outro lado são mais indicados para se manter uma boa selagem íntegra. Geralmente os suportes são feitos de alumínio ou aço galvanizado, que irão durar bastante se devidamente protegidos.

2.9.2.4. Calhas de Coleta

A calha de coleta fica localizada na base da cobertura de vidro e serve para coletar a água condensada e levá-la para o local de armazenamento. Deve ser bastante pequena para não criar sombreamento no tanque. O material mais indicado é o aço inoxidável, apesar de seu alto custo. O alumínio não deve ser corroído na presença de água destilada, mas é aconselhável revesti-lo com uma cobertura de silicone, a fim de protegê-lo melhor. Ferro galvanizado não deverá durar mais que uns poucos anos, e cobre ou latão não devem ser usados, pois podem trazer riscos à saúde. O polietileno não é indicado, pois ele gera gosto e cheiro na água. O PVC tem sido usado, mas seu uso é restrito devido à grande exposição ao calor e à luz solar (MALUF, 2005).

2.9.3. Princípio de Funcionamento dos Destiladores

O emprego direto de energia solar para despoluir a água vem sendo usado há algum tempo e o processo da destilação solar funciona da seguinte forma, a água é aquecida pelos raios solares, produzindo então vapor d'água, e este é condensado em uma superfície fria (cobertura de vidro) e o condensado coletado passa a ser a água-produto. Quando se utiliza um destilador solar natural, a luz solar atravessa o vidro (energia solar é aprisionada dentro da câmara, pois o vidro comum é transparente para a radiação solar, mas opaco para a radiação que é o efeito estufa), a água do líquido bruto evapora, os vapores se condensam na parte interna do vidro, transformando-se novamente em água, que escorre para um sistema de recolhimento. Dessa forma, separa-se a água de todos os sais e impurezas.

De acordo com Maluf (2005), não é necessário, como alguns acreditam, que a água ferva para que ela seja destilada. O processo realizado pelo destilador solar realiza o mesmo trabalho que a fervura, produzindo uma água até mesmo mais pura, pois quando as bolhas da fervura estouram, elas podem contaminar a água destilada com pequenas porções de água contaminada sendo lançadas no vapor.

A luz do sol ao chegar a um Destilador solar, tem a forma espalhada (dispersando-a em todas as direções - para cima, para baixo e para os lados), ou seja, essa energia depende de vários fatores climatológicos da área, onde se incluem as horas do dia, a estação do ano, a latitude do local e se o céu está limpo ou nublado (LOPES, 2004). O destilador deve ter um grande comprimento no sentido leste-oeste, com o objetivo de maximizar o ganho solar.

Considerando a destilação solar uma tecnologia bastante promissora, principalmente em regiões distantes dos centros urbanos e onde o custo das fontes

convencionais é bastante alto, e regiões de grande insolação e áreas desertas e são necessários estudos e pesquisas com vistas a melhorar os rendimentos e aumentar a viabilidade dessa técnica. De acordo com Bezerra *et al.*, (2005), o índice de radiação da energia solar no nordeste brasileiro, particularmente no Estado da Paraíba, é de 5,2kW/m².dia (valor sem considerar as perdas térmicas), sendo Natal a cidade onde o índice de radiação solar é o maior do país, logo, é evidente a potencialidade dessa fonte energética. Observe a Figura 2.11 que mostra a distribuição anual da radiação solar no Brasil.

A operação destes destiladores é muito simples e não requer um alto custo de manutenção ou trabalhadores especializados, apesar de que uma correta manutenção seja fundamental para que eles funcionem adequadamente.

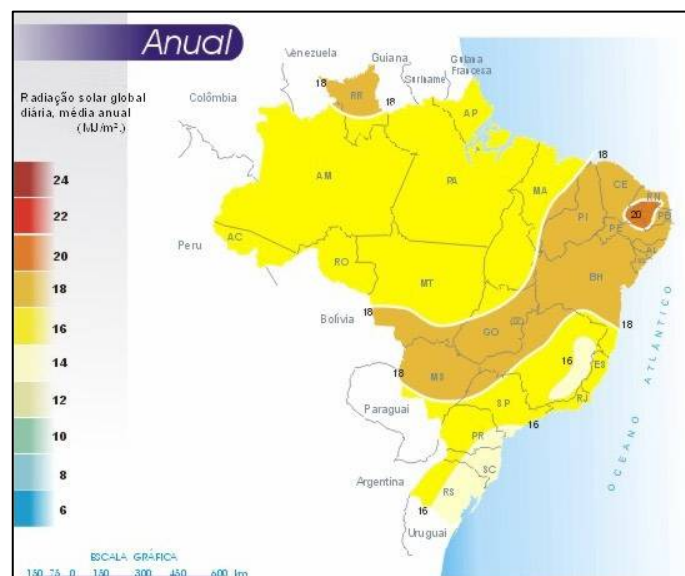


Figura 2.11: Distribuição anual da radiação solar no Brasil
(Fonte: Atlas Solarimetro do Brasil – CD Room)

2.9.4. Inclinação do Vidro

O ângulo de inclinação da cobertura de vidro tem influência na quantidade de radiação solar que entra no destilador. Quanto mais ortogonal à superfície do vidro for esse ângulo de incidência melhor. Enquanto que para ângulos de incidência de 90° cerca de 90% da radiação é transmitida, para ângulos de 20° quase nenhuma radiação direta atravessa o vidro (Figura 2.12). Mas como as latitudes brasileiras vão de 0° a cerca de 35°, esse problema é minimizado. Não é necessário haver uma inclinação muito grande do vidro para que a água escorra por ele: com o vidro limpo, uma inclinação de apenas 1° é necessária para que isso ocorra. É interessante uma inclinação pequena, pois assim se

gastará menos vidro, o destilador terá volume e peso menores (custando menos) e o volume de ar entre a água e o vidro será menor, aumentando a eficiência (MALUF, 2005).

Segundo Maluf (2005), a cobertura de vidro fica em uma posição inclinada (o valor ideal está entre 10° e 15°) de modo a evitar que as gotas d'água caiam de volta para o reservatório de água salobra.

Porém Bezerra *et al.* (2005), recomendam uma inclinação mínima possível para aumento da eficiência, estando essa inclinação em torno de 20° aqui no Brasil, porque a absorção é máxima quando o ângulo de incidência é de 90° . Sabe-se ainda, que essa eficiência sofre variação com a latitude e longitude.



Figura 2.12: Destilador solar com cobertura de 20°
Fonte: Bezerra (2004)

A operação do destilador com o ângulo de inclinação de 45° forneceu maiores taxas de condensação. Esse fato poderia ser explicado, entre outros fatores, pela maior área disponível para condensação que essa cobertura tem em relação à ao de 20° . Essa observação é baseada na relação de $Nu \times Ra$ (dos números adimensionais de Nusselt e Rayleth) e mostra que a energia térmica transferida de uma superfície é independente de seu ângulo de inclinação, de forma que, se pode concluir que maiores produções de destilado em coberturas de maiores inclinações estão relacionadas ao maior calor sensível acumulado pela maior disponibilidade de área. O que deduz é que as taxas de condensação variem de acordo com as estações, onde no outono-inverno a inclinação de 45° privilegiaria a condensação oferecendo maiores rendimentos e nas estações mais quentes (primavera-verão) a eficiência energética seria privilegiada, dando melhores resultados. Para se confirmar essa hipótese deve-se conduzir o estudo dessas taxas por um ano e de

forma concomitante para que se possa chegar a uma conclusão definitiva (BEZERRA, 2004).

2.9.5. Eficiência e Produção Típicas

A destilação pode ser traduzida por um balanço de energia associado a um, processo de transferência de calor e massa. De acordo com a Figura 2.13 a radiação solar incidente no deslocamento é dissipada em 39% pelo vitral, 9% por ele absorvida e mais 9% refletida. Além do mais a superfície do líquido reflete 7 %, radiação líquido vidro 5%, convecção 6%, evaporação 19 %, perdas através das paredes do destilador e do isolante térmico é de 13% restando apenas 32% para a energia útil armazenada pela água. Em função desta energia armazenada pela água verifica-se uma mudança de fase onde o vapor do líquido formado é condensado ao atingir a superfície do vitral e recolhida em forma de água destilada pelas respectivas calhas (BEZERRA, 2004).

A energia solar incidente no destilador não é totalmente utilizada no processo de transferência de calor e massa, necessário a produção de água destilada. Uma parcela desta energia é absorvida, dissipada e refletida pela cobertura transparente de vidro, além de perdas devido aos mecanismos de convecção, radiação e condução. Todos estes mecanismos são responsáveis por uma parcela bastante significativa da energia que não é empregada no processo de destilação.

Maluf (2005) explica que as perdas típicas em um destilador solar do tipo tanque raso, são causadas pela reflexão da radiação incidente no vidro (cerca de 10% da energia total), absorção no vidro (10%), perdas por radiação da cobertura de vidro para o céu (3,7%), perdas por convecção do vidro para o ambiente (12,2%), perdas por condução da base do reservatório para o solo (16% mas com o uso de um bom isolante térmico pode cair para 5%) e outras perdas menores devido aos vazamentos de calor (9,7%). Esses valores foram tirados de experimentos feitos na Índia. A velocidade do vento (efeito Bernoulli) e as diferenças de temperatura contribuem para os vazamentos de calor. Assim, considerando esses números como referência, de 38% a 43% (a eficiência máxima atingida não passa de 60%) da energia solar recebida pelo destilador é utilizada no processo de transferência de massa da evaporação. (MCCRACKEN, GORDES, 1985)

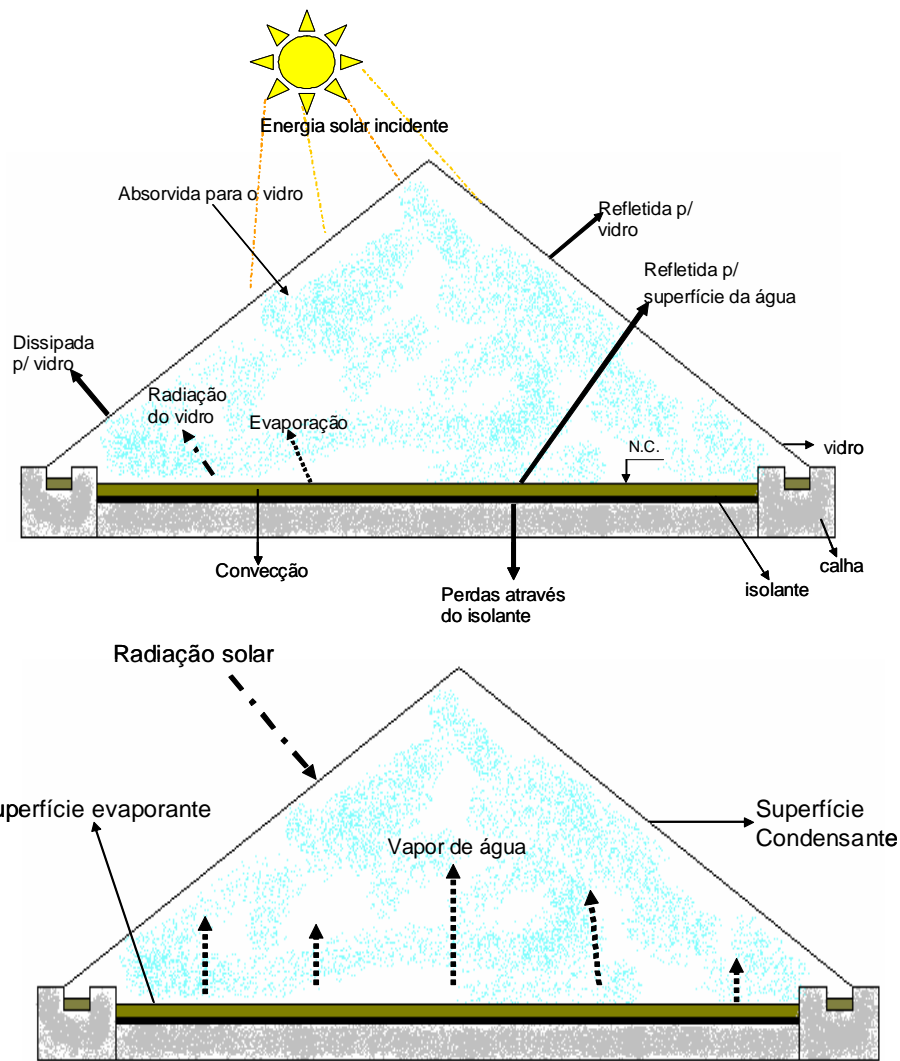


Figura 2.13: Balanço de energia no destilador convencional

2.9.6. Processos de transmissão de calor num destilador

2.9.6.1. Evaporação

A evaporação é o processo físico no qual um líquido ou sólido passa ao estado gasoso. Em meteorologia, o termo evaporação restringe-se a mudança do líquido para o vapor devido à radiação solar e aos processos de difusão molecular e turbulenta. Além da radiação solar, as variáveis meteorológicas que interferem na evaporação, particularmente de superfícies livres de líquidos, são a temperatura do ar, vento e pressão de vapor (TUCCI & BELTRAME, 2002).

Righetto (1998) descreve que o processo físico da evaporação pode ser formulado através da teoria cinética molecular, em nível macroscópico, através do balanço de energia e transporte do vapor d'água de uma superfície evaporante.

O mesmo autor comenta, pela teoria cinética, considera-se que certo numero de moléculas com energia maior que a energia média para uma dada temperatura e com energia suficiente para vencer as forças atrativas pelas outras moléculas está sempre quebrando a estrutura molecular na superfície da água líquida, com mudança de fase para o vapor. A passagem pela superfície de moléculas do estado líquido para o estado de vapor faz com que o ar acima da superfície líquida fique enriquecido de vapor d' água. Devido ao processo de difusão, algumas moléculas de vapor d' água da fina camada de ar vizinho e outras colidem com a superfície líquida; parte é capturada e retorna a fase líquida e parte é refletida.

2.9.6.2. Condução

Na condução o fluxo de calor é constituído pela energia transmitida pela interação molecular direta, sem que ocorra deslocamento apreciável das moléculas. Os átomos, ou elétrons, ou moléculas, na região mais quente, induzem, pelos impactos, uma atividade crescente dos átomos, ou dos elétrons ou das moléculas adjacentes; desta forma o calor flui das partes mais quentes para as mais frias (FAIRES e SIMMANG, 1983).

2.9.6.3. Convecção

A transmissão de calor por convecção é devida ao movimento do fluido, e esse fluido frio adjacente a uma superfície quente recebe calor, o qual é transmitido para o volume do fluido frio misturando-se com ele (KERN, 1982).

De acordo com Faires e Simmang (1983), a convecção é uma combinação de radiação, de condução e de transporte de fluido. Ou seja, o fluido que efetua a convecção é aquecido pela radiação e pela condução provenientes dos corpos quentes; então uma parte do fluido, ou todo ele, com a energia armazenada, desloca-se para um corpo ou para um ambiente frio, e aquece o corpo ou o espaço pela sua radiação e também pela condução.

2.9.7. Radiação Solar

De acordo com Righetto (1998), a radiação solar é a forma de energia recebida pela Terra, sendo principalmente responsável pela formação dos inúmeros sistemas terrestres existentes, dentre estes a atmosfera. O mesmo autor diz que a radiação solar é uma radiação eletromagnética de largo espectro de frequência ou de comprimento de onda, composta principalmente das seguintes faixas ou bandas de frequências: raios-X, luz visível e radiação infravermelha.

A variação da radiação solar incidente em um determinado local tem uma suave variação ao longo do ano devido à variação da distância entre a Terra e o sol.

No entanto, para efeito de dimensionamento de uma máquina térmica é utilizado valor da radiação solar que atravessa a atmosfera e irradia a superfície terrestre. Esta radiação, devido a interações com as partículas na atmosfera subdivide-se em duas parcelas: a radiação direta, que não sofreu desvio de sua trajetória, e a radiação difusa, que sofreu modificações de sua trajetória na atmosfera (PINA, 2004).

2.9.7.1. Radiação solar ao longo do ano

As variações da radiação solar incidente em um determinado local decorrentes da rotação da Terra e do ângulo de declinação do eixo de rotação em relação aos raios do Sol são quantificadas através de relações trigonométricas e de relações entre o tempo universal ou civil de Greenwich (TCG), o tempo civil local (TCL) e o tempo solar local (TSL) (RIGHETTO, 1998).

O mesmo autor afirma que, enquanto o dia civil tem duração exata de 24 horas, o tempo solar, referente a duração do movimento aparente do sol em um determinado local, sofre variação decorrentes da rotação da Terra, da obliquidade da órbita terrestre e de outros fatores. As variações da radiação solar incidente a uma superfície ocorrem principalmente pelas mudanças de declinação solar ao longo do ano, como mostra a Figura 2.14, é apresentada a situação de máxima insolação do hemisfério sul, que ocorre em 22 de dezembro. A parte sombreada da figura corresponde à superfície não exposta aos raios solares.



Figura 2.14: Variação de exposição da superfície terrestre aos raios solares.
Fonte: MAGNOLI, Dona; SCALZARETTO. R (1998).

2.9.7.2. Radiação solar direta e difusa

A radiação direta é aquela proveniente do disco solar para os respectivos dias de insolação e que não sofre interação com a atmosfera terrestre, enquanto que a radiação difusa é toda aquela oriunda da atmosfera. Ou seja, a radiação difusa representa 10 a 16% da radiação direta que chega a superfície da terra num dia ensolarado e sem nuvem, e com o tempo parcialmente nublado, ela pode atingir a 50% e em dias completamente cobertos, corresponde à radiação global (BEZERRA, 2004).

Segundo Lopes (2003), a intensidade e a distribuição espectral da radiação solar que incide na superfície da terra, dependem das condições atmosféricas e da massa atmosférica atravessada pela radiação. Ao atravessar a atmosfera, esta radiação percorre um caminho de constantes interações, sendo parcialmente absorvida e sofrendo inúmeras reflexões e espalhamentos. A partir destes fenômenos, o estudo da radiação solar incidente na superfície da terra divide-se em duas partes distintas: a radiação solar direta, que é definida pela parcela da radiação que continuou seu caminho sem ser espalhada pela atmosfera, e a radiação solar difusa, parcela da radiação que sofreu modificações em sua trajetória ao atravessar a atmosfera. A soma das parcelas direta e difusa é denominada radiação global.

4.9.8. Vantagens e Desvantagens da Destilação Solar

4.9.8.1. Vantagens da destilação solar

As vantagens da destilação solar excedem sobremaneira suas desvantagens (BEZERRA, 2004):

- A operação dos destiladores é bastante simples e não requer altos custos de manutenção e reparos, nem de mão de obra qualificada;
- O tratamento do líquido feita via destilador solar é uma tecnologia muito simples, sem a necessidade de instrumentos complicados nem partes eletrônicas ou mecanicamente móveis;
- Simplicidade de operação e manutenção, requerendo para sua manutenção apenas a limpeza periódica;
- O combustível utilizado é gratuito, o processo é silencioso e não poluente.
- Altas eficiências de remoção dos poluentes, superiores a 90 %.

- Com o destilador adequadamente operado, a água produzida será livre de sais e de contaminação microbiológica, melhorando assim os padrões de lançamentos em corpos hídricos;
- Se construído com bom isolamento térmico, durante a noite também haverá produção de água destilada devido ao calor armazenado na massa de água.

4.9.8.2. Desvantagens da destilação solar

As desvantagens da destilação solar são poucas, sobretudo quando se considera seus benefícios. Entretanto elas existem e estão enumeradas a seguir:

- Demanda de grandes áreas para sua instalação;
- Baixos rendimentos, o que a torna, via de regra, economicamente inviável para implantação em grandes escalas;
- Necessidade de remoção periódica dos resíduos depositados no fundo dos destiladores sob pena de perda de rendimento.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada na realização do trabalho está dividida entre os aspectos gerais do aterro da Muribeca, projeto e descrição do evaporador solar, fases estudadas e período de coletas, pontos de amostragem e procedimento de coleta, determinações dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, avaliação do recurso solar e precipitação, análise dos gases, balanço hídrico e por fim será apresentado um cronograma de análises de todas as fases estudadas.

3.1. Aspectos Gerais do Aterro da Muribeca

O aterro da Muribeca (Figura 3.1) recebe diariamente em média, 3.000 Ton./dia de resíduos dos municípios de Jaboatão dos Guararapes e Recife, sendo o maior do Estado de Pernambuco, ocupando uma área de 60 hectares e localiza-se na zona rural do município de Jaboatão dos Guararapes (PE), a uma distância de 16 Km do centro do Recife. O lixo que chega ao aterro é composto de 60% de matéria orgânica, 15% de papel, 8% de plástico, 2% de metais e 13% de outros materiais.

De 1985 até 1994, colocava-se o lixo a céu aberto em diversos pontos do terreno, sendo popularmente definido como “lixão”. A Prefeitura da Cidade do Recife, através da EMLURB (Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana), em 1994 começou a recuperação do lixão com o objetivo de atingir a meta de Aterro Sanitário, visando minimizar os impactos, a partir das normas de disposição adequada. Este processo iniciou-se após levantamento ambiental da área (geologia, hidrogeologia, morfologia, geotecnia e recursos hídricos) e consistiu na construção de nove células com dimensões de 20 x 20 m e espessura da camada de lixo de aproximadamente 20 a 40m.



Figura3. 1 - Foto do aterro da Muribeca

O aterro da Muribeca produz, diariamente, entre 1 e 5 L/s de líquidos lixiviados, dependendo da precipitação pluviométrica diária.

O clima na região é classificado como quente e úmido, apresentado uma temperatura média entre 26°C no mês de fevereiro e 23°C no mês de julho, enquanto a umidade relativa varia entre 70 e 80%. De acordo com Jucá *et al.* (2002), a maior parte da precipitação pluviométrica está concentrada entre os meses de fevereiro e julho e a média anual é em torno de 1750 mm

Em outubro de 2002 todo lixiviado produzido no Aterro da Muribeca passou a ser drenado e encaminhado para Estação de Tratamento do Lixiviado (ETC), utilizando o método de Sistema de Lagoas de Estabilização. O efluente tratado é despejado no Rio Jaboatão (Classe III).

Antes de 2002, o lixiviado gerado escoava diretamente ao Rio Muribequinha (Classe I). De acordo com a Figura 3.2, a ETC constam de uma lagoa de decantação (LD), uma lagoa anaeróbia (LA) e três lagoas facultativas (LF1, LF2 e LF3).



Figura 3.2: Estação de tratamento de lixiviado (ETC) do Aterro da Muribeca, PE.

Estudos realizados nesta estação (ROCHA, 2005) mostraram que a concentração média de matéria orgânica (DQO) foi de 7.863 mgO₂/L e de matéria orgânica biodegradável (DBO) de 3.655 mgO₂/L. Estes valores são altos, sobretudo quando se sabe que a vazão média situa-se em torno de 400 m³/dia, o que dá uma carga orgânica de 1.462 kg BDO₅/dia. Por outro lado, o sistema de lagoas, utilizado na ETC da Muribeca, não vem sendo eficiente na remoção da poluição, apresentando baixas eficiências de remoção e descarte fora dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005.

3.2. Projeto e descrição do evaporador solar

O piloto experimental foi montado com o objetivo de avaliar o processo de evaporação como uma nova alternativa para eliminar os impactos ambientais causados pelo lixiviado, concentrando as substâncias contidas no lixiviado como um resíduo sólido e eliminando os voláteis, como a amônia, por “*stripping*” para o ar. Visa assim, contribuir com o estudo dos tratamentos dos líquidos percolados. Essa tecnologia foi escolhida pela localização da região em que será montado o experimento, ou seja, uma área que apresenta altas taxas de insolação, mas também apresentam médios a altos níveis de precipitação pluviométrica.

O estudo foi dividido em seis fases com evaporador fechado e foram feitos dois experimentos com ele aberto (Tabela 6).

Tabela 6: Frequência do Período dos Estudos

Fases	Inicio	Término
	FECHADO	
I	25/01/2007	26/02/2007
II	26/02/2007	27 /03/2007
III	29/03/2007	16/04/2007
IV	04/07/2007	12/09/2007
V	13/09/2007	02/10/2007
VI	01/11/2007	14/11/2007
Experimentos	ABERTO	
I	16/10/ 2007	19/10/2007
II	21/01/2008	13/02/2008

3.2.1. Escolha dos Materiais

Para construção do piloto experimental (evaporador), foram testados alguns tipos de materiais, para selecionar o mais adequado para a construção do mesmo. Os materiais selecionados foram: Aço Inox, Aço Galvanizado, Alumínio, Acrílico e Vidro (Figura 3.3).

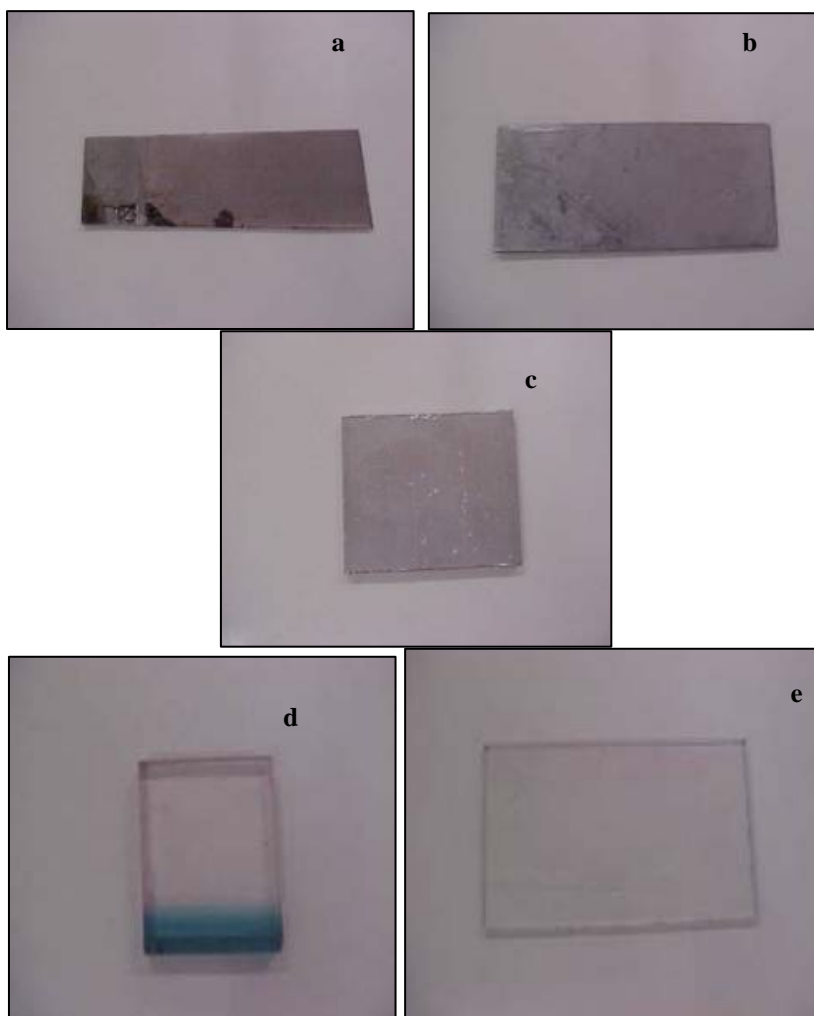


Figura 3.3: (a) Placa de Aço Inox, (b) Placa de Aço Galvanizado, (c) Placa de Alumínio, (d) Placa de Acrílico, e) Placa de Vidro.

As placas foram mergulhadas em um recipiente preenchido com lixiviado (coletado na entrada da ETC do Aterro da Muribeca). Foi medido o peso das placas antes de serem mergulhadas no lixiviado durante um mês. Depois desse período foi novamente pesado para se saber se houve perda de material (corrosão). O objetivo foi testar o material mais adequado, ou seja, o que menos foi agredido pelo lixiviado. Na Tabela 7 são mostrados os pesos das placas antes e depois de mergulhada no lixiviado.

Tabela 7: Pesos antes e depois de mergulhado no lixiviado

Materiais	Antes	Depois
Placa de Aço Inox:	19,42g	19,33g
Placa de Aço Galvanizado	32,82g	32,82g
Placa de Alumínio	17,33g	17,31g
Placa de Acrílico	20,30g	20,22g
Placa de Vidro	43,11g	43,10g

Como não houve uma diferença significativa na perda de material nas placas testadas e quanto a oxidação observou-se desgastes similares nos aços inox e galvanizado e na de alumínio, optou-se pela que teve um custo mais barato, ou seja, o aço galvanizado.

3.2.2. Projeto e Construção do Piloto Experimental

O equipamento de destilação solar desenvolvido é um destilador de simples efeito, convencional, de duas águas, que consta de um prisma triangular reto com uma das faces voltada para baixo, na qual está acoplada uma bandeja e duas calhas para recolhimento de água de produção tratada (destilada). Foi escolhido o modelo mais simples de destilador, devido à falta de dados na literatura sobre destilação solar para águas de produção, assim optou-se pelo modelo convencional para simplificar o estudo. Além disso, se o modelo mais simples for eficiente, os otimizados certamente o serão.

O tanque raso que é a base do destilador foi confeccionado de aço galvanizado, onde possui uma cobertura de vidro, que é inclinada até as bordas ao centro para que o líquido que se condensa na superfície interior escorra por gravidade até as calhas. Para vedação entre os cantos do vidro e o tanque, foi utilizado silicone. As dimensões da unidade piloto são as seguintes (Figura 3.4):

- Caixa de base: 1,00 m de largura x 1,50 m de comprimento x 0,30 m de altura;
- Altura das pernas: 0.90 m
- Calha: 0.15 m de largura x 1,5 m de comprimento;
- Vidro: 1.30 m de largura x 1.5 m de comprimento;
- Inclinação da placa de vidro: 45°
- Espessura do vidro: 3mm

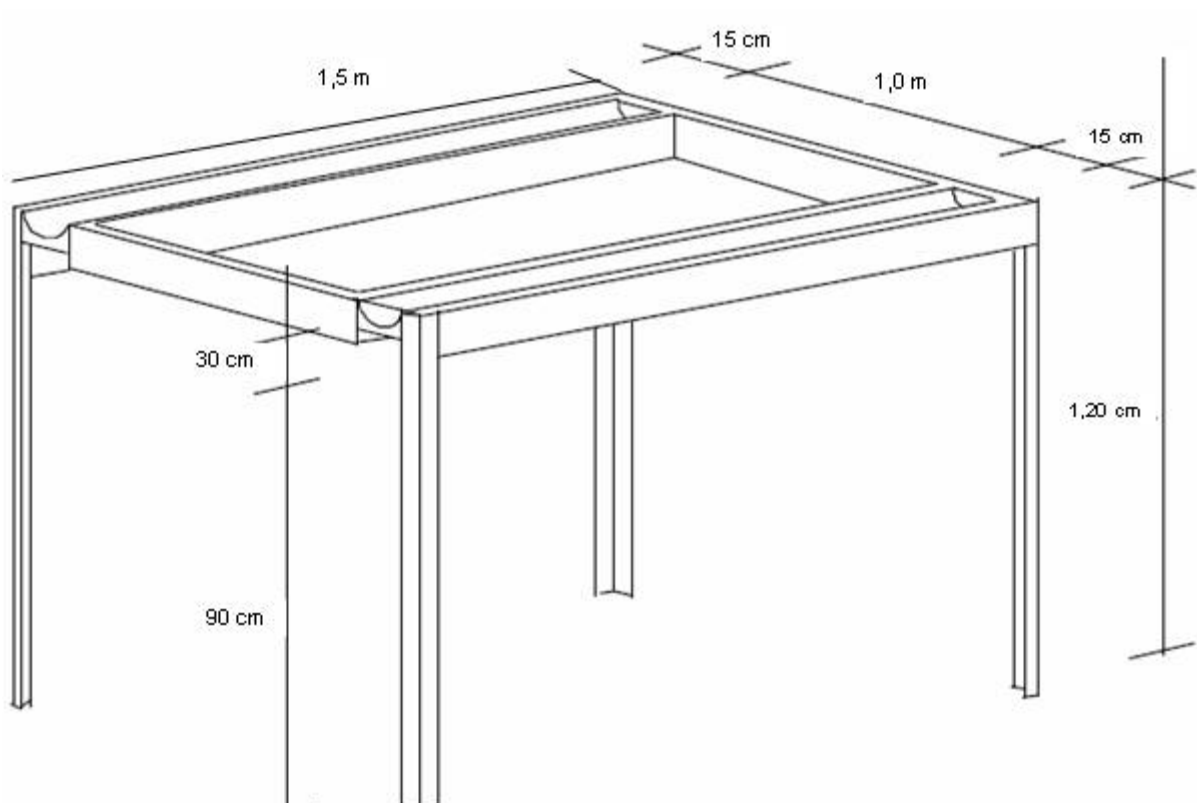


Figura 3.4: Visão da base do evaporador em perspectiva com cotas

Pode-se observar na Figura 3.5, na base do equipamento (base do evaporador) os torneiras para alimentação de amostra no mesmo. Conforme pode visualizar na Figura 3.6 as calhas onde à água destilada se armazena para ser coletada.



Figura 3.5: Visão frontal do destilador e dos dispositivos de coleta



Figura 3.6: Vista das calhas onde é feita a coleta da água destilada

3.2.3. Instalação do Evaporador

Nos primeiros experimentos, Fases I e II, o evaporador foi instalado na Estação de Tratamento de Chorume (ETC) da Muribeca, com a orientação norte-sul, onde uma das faces voltadas ao nascente e a outra ao poente, de modo a melhor aproveitar a incidência dos raios solares. Localizado ao lado da lagoa de decantação do lixiviado (Figura 3.7). A razão da escolha desse lugar foi pelo fato de se utilizar o lixiviado decantado para os ensaios na unidade piloto, por não haver construções ou vegetações ou pudessem sombrear a superfície do evaporador e também um local seguro (conta com a presença de vigilantes da ETC) e de fácil acesso.



Figura 3.7: Lagoa de Decantação e Evaporador Aterro da Muribeca

Na Fase III, IV, V e IV o evaporador solar mudou de lugar, sendo instalado na área de testes do grupo Fontes Alternativas de Energia (FAE) do Departamento de Energia Nuclear (DEN) na UFPE como mostra a Figura 3.8. O motivo que levou a mudança de lugar foi para coletar dados de radiação solar, fornecidos pelo grupo, ou seja, estudar a influência da radiação solar na produção de volume de água destilada. Além disso, a facilidade de acesso ao experimento, uma vez que o mesmo, sendo realizado dentro do campus, fica mais fácil à coleta de dados e um monitoramento mais intenso.



Figura 3.8: Foto da unidade piloto na área de testes do Grupo de Energia Solar (FAE) do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE

O Evaporador foi preenchido com 45L de Lixiviado (Figura 3.9) para as seis Fases fechadas. E depois vedado entre a cobertura de vidro e a base de aço, com folhas de alumínio e cola de silicone para que não ocorresse vazamento de vapores, nem entrada de água (Figura 3.10).



Figura 3.9: Preenchimento do Evaporador com lixiviado



Figura 3.10: Vedação do Evaporador

3.3. Fases Estudadas e Período de Coletas

O período de estudo foi dividido em seis fases com Evaporador fechado na qual o sistema operado em regime de batelada para alimentação da amostra e saída da mesma e de forma contínua para captação da água destilada. E para melhor estudar a evaporação do lixiviado foram realizados dois experimentos com ele aberto.

O estudo iniciava assim que o evaporador era preenchido com os 45L de lixiviado, e o término do mesmo ocorria quando o lixiviado evaporava por completo restando somente o resíduo sólido no fundo do evaporador. Assim pesquisa iniciou em janeiro 2007 terminando em fevereiro de 2008, distribuídos em:

3.3.1. Fases com Evaporador Solar Fechado:

- Fase I: Esta Fase serviu como um teste para familiarização com o evaporador solar, no sentido de verificar seu funcionamento. O experimento foi iniciado no dia 25 de Janeiro de 2007 e termino 26 de Fevereiro de 2007. Esses meses apresentam altas incidências solares, conforme pode ser observado na Figura 3.11.

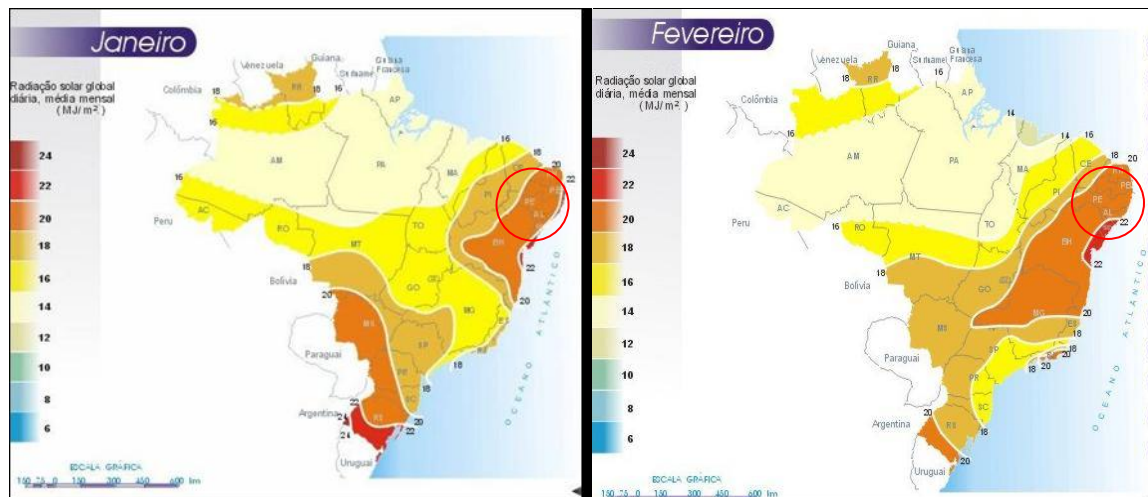


Figura 3.11: Mapa da Radiação solar do mês de Janeiro e Fevereiro
(Fonte: Atlas Solarimetro do Brasil – CD Room)

- Fase II: O evaporador foi preenchido no dia 26 de Fevereiro de 2007 e secou no dia 27 de março de 2007. Neste período a radiação solar no Recife ainda estava intensa, como mostra a Figura 3.12, porém ocorreram algumas precipitações.

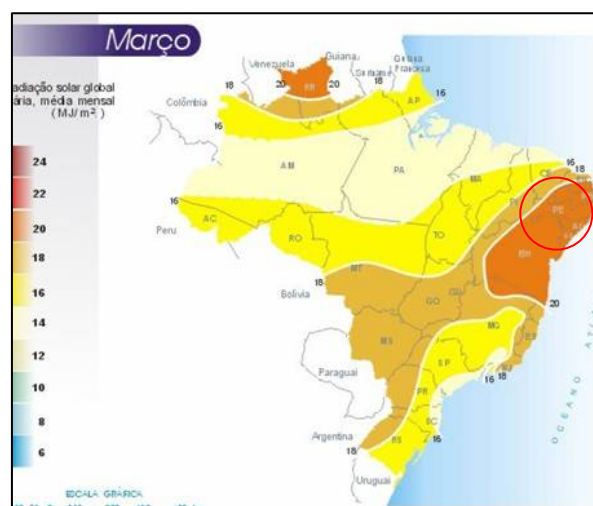


Figura 3.12: Mapa da Radiação solar do mês de março
(Fonte: Atlas Solarimetro do Brasil – CD Room)

- Fase III: Essa fase foi iniciada no dia 29 de Março e acabou dia 16 de Abril. Observa-se que nesse mês de estudo as temperaturas começam a cair na cidade de Recife (Figura 3.13). De acordo com Jucá *et al*, (2002), no clima na Região Metropolitana do Recife (RMR), as chuvas ocorrem quase todo o ano. Esse clima é quente e úmido, possuindo uma taxa de precipitação pluviométrica anual excedendo a evapotranspiração. A taxa de evapotranspiração real é de 950 mm. A umidade relativa é alta, atingindo um valor médio de 80%. A estação chuvosa ocorre no outono-inverno, nos meses de março a agosto, com valores precipitação variando em torno de 170mm a 360mm mensais, sendo o mês mais seco o de novembro e a média anual em torno de 2200mm.

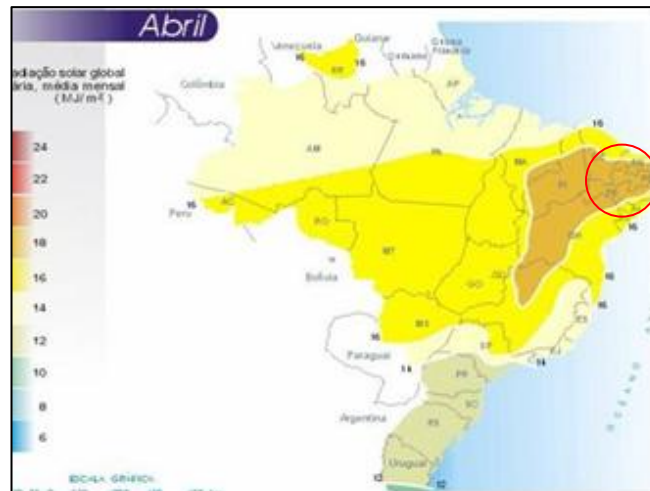


Figura 3.13: Mapa da Radiação solar do mês de Abril
(Fonte: Atlas Solarimetro do Brasil – CD Room)

- Fase IV: Essa Fase iniciou no dia 4 de Julho finalizando no dia 12 de Setembro de 2007, essa época do ano os meses de Julho e Agosto são característicos por serem meses com bastante precipitação pluviométrica entorno de 352 a 351 mm de acordo com o ITEP. No mês de Setembro já começam aumentar novamente as temperaturas de conforme a Figura 3.14

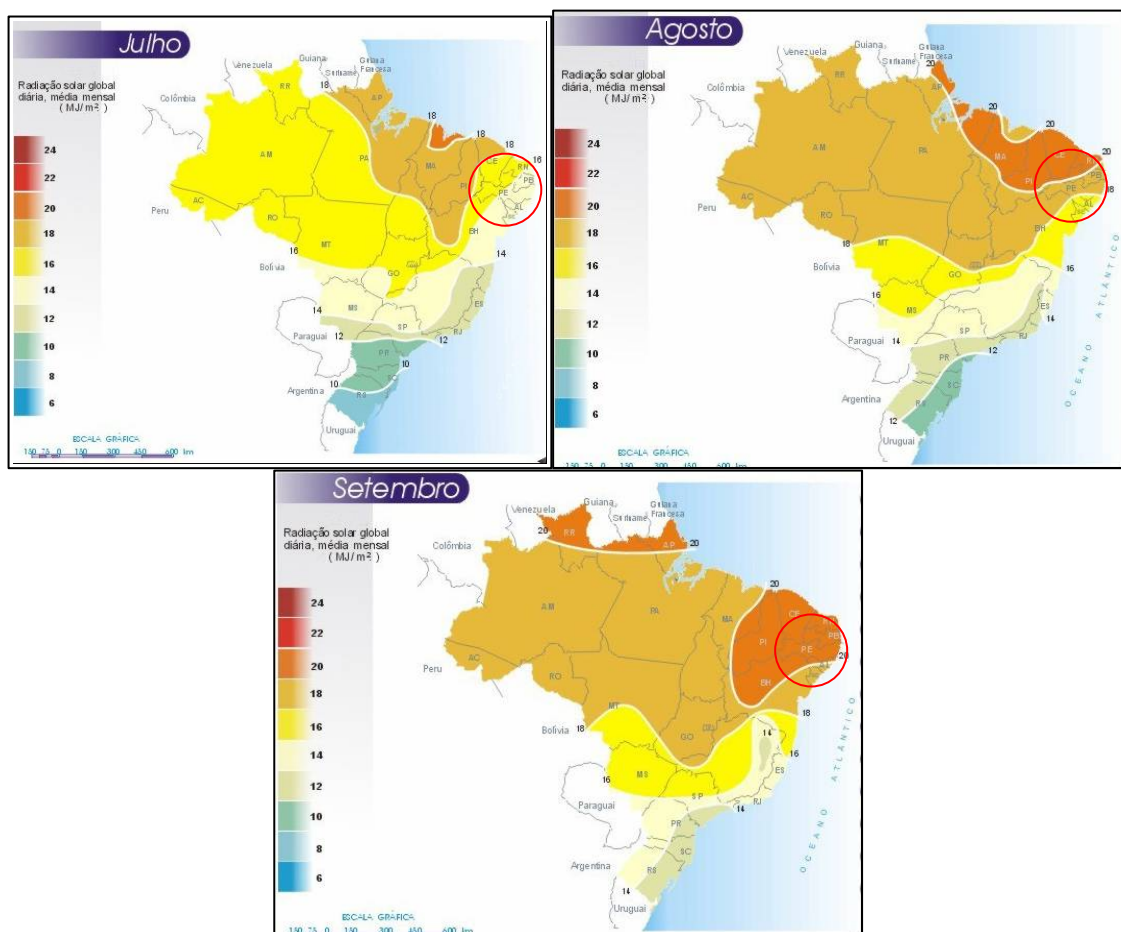


Figura 3.14: Mapa da Radiação solar do mês de Julho, Agosto e Setembro
(Fonte: Atlas Solarimetro do Brasil – CD Room)

- Fase V: Foi preenchido no dia 13 de Setembro no qual secou no dia 02 de Outubro de 2007. Já começam as altas temperaturas (Figura 3.15).

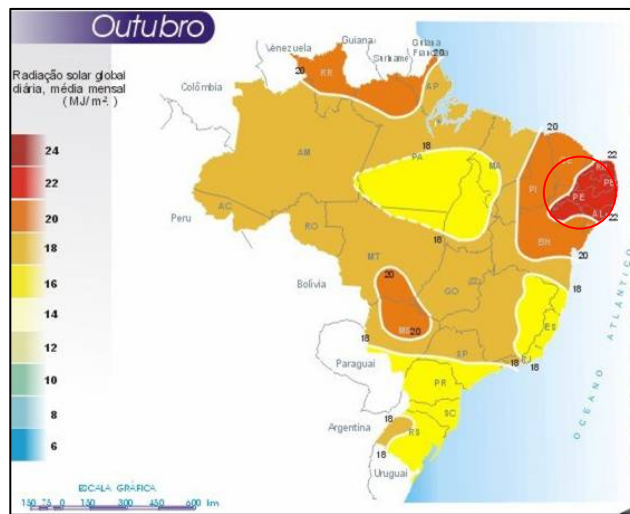


Figura 3.15: Mapa da Radiação solar do mês de Outubro (Fonte: Atlas Solarimetro do Brasil – CD Room)

- Fase VI: Começou no dia 01 de Novembro até 14 de Novembro de 2007, observando a Figura 3.16, mostra que o mês de novembro ocorre bastante radiação solar.

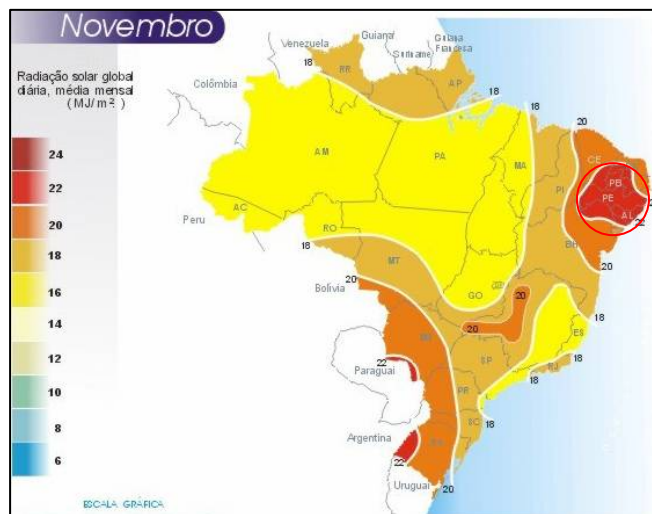


Figura 3.16: Mapa da Radiação solar do mês de Novembro (Fonte: Atlas Solarimetro do Brasil – CD Room)

3.3.2. Fases com Evaporador Solar Aberto

Essa parte da pesquisa teve como finalidade obter mais dados de taxa de evaporação diária com o sistema aberto, sendo dividida em dois experimentos. O primeiro experimento do Evaporador Solar foi realizado no dia 16 de Outubro de 2007, entre as Fase V e Fase VI do sistema fechado tendo duração de quatro dias. O segundo experimento

só foi realizado quando o estudo com as Fases aberto finalizou, dando início no dia 21 de Janeiro de 2008 e finalizando no dia 13 de Fevereiro de 2008.

3.4. Pontos de Amostragem e Procedimento de Coleta

Para o preenchimento do evaporador nas Fases foi coletado lixiviado na lagoa de decantação, mostrada nas Figuras 3.17 e 3.18. Para avaliar a eficiência do sistema das Fases fechadas, em termos de qualidade da água de saída, foram coletadas amostras da água da calhas de saída do sistema (Figura 3.19) e comparados com os resultados das análises do lixiviado utilizado no enchimento do evaporador.



Figura 3.17: Local onde é retirado o Lixiviado Bruto (lagoa de Decantação)



Figura 3.18: Coleta do lixiviado na lagoa de decantação



Figura 3.19: Coletas das amostras de água destilada das calhas de saída do sistema

Para a o primeiro experimento da Fase Aberta o Evaporador Solar foi preenchido também com 45L de livixiado (Figura 3.20). Foi aferida diariamente a altura do livixiado através de um paquímetro (Figura 3.21), para verificar o quanto foi evaporado de um dia para o outro.



Figura 3.20: Evaporador preenchido com 45L de Lixiviado



Figura 3.21: Medição diária da altura do livixiado através de um paquímetro

Para o segundo experimento colocou-se 400L de lixiviado (Figura 3.22). Além da leitura da altura do lixiviado foi feita à leitura dos gases que são liberados pelo o mesmo.



Figura 3.22: Enchimento do evaporador para o segundo experimento aberto.

3.5. Determinações dos Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos Estudados

Para caracterizar o lixiviado produzido no Aterro da Muribeca e verificar a eficiência do equipamento medida através da produção da água destilada (água tratada), analisaram-se os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos na água destilada, no lixiviado que alimentou a unidade. As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório GRS (Grupo de Resíduo Sólido) no Departamento de Engenharia Civil da UFPE de acordo com o *Satndard Methds for the examination of Water and Wastewater (1995)*.

Os parâmetros quantificados para o lixiviado e para o destilado foram os seguintes: DBO5, DQO e Sólidos Totais, pH, cor, turbidez, metais, condutividade elétrica e coliforme Total e Termotolerante. A Tabela 8 apresenta os parâmetros utilizados para caracterizar o lixiviado e o destilado.

Tabela 8: Parâmetros utilizados na caracterização do lixiviado, líquido destilado e no lodo.

Parâmetro	Método Analítico
<i>Físico-químico</i>	
Demanda Química de Oxigênio (DQO):	O método utilizado para determinação deste parâmetro foi da digestão por $K_2Cr_2O_7$ em refluxo fechado, e a unidade deste é $mg\ O_2/L$;
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)	Foi determinada pelo método de Wincler com modificação acida a unidade também é $mg\ O_2/L$;
pH	Método titulométrico com ácido sulfúrico como solução titulante e fenolftaleína
Cor	Espectrofotômetro

Turbidez	Turbidímetro
Sólidos totais (ST)	Estufa, chapa quente e cápsulas de porcelana
Condutividade	Colorimétrico
Metais (Cromo, Chumbo, Manganês e Ferro)	Espectroscopia de Absorção Atômica
Nitrogênio amoniacal	Método eletrométrico
Microbiológico	
Coliforme Total (NPJM/100ml)	Tubos Múltiplos
Coliforme Fecal (NPJM/100ml)	Tubos Múltiplos

Todos os métodos analíticos seguiram indicações de APHA (1995)

3.5.1. Análise da Demanda Química de Oxigênio

Utilizou-se o método calorimétrico - Método 508 do *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater (1995)*. A amostra é aquecida em frasco fechado em meio fortemente ácido com uma quantidade de dicromato. Após a digestão, o dicromato de potássio foi reduzido e pôde ser medido contra padrões, que é uma curva de soluções padrões utilizados para calibrar o espectrofotômetro de UV, Marca Hach. O resultado da DQO é expresso em unidades de mg/litro. A DQO representa um dos principais parâmetros de contaminação existentes nos líquidos Lixiviados, indicando a carga de matéria orgânica transportada e a quantidade de oxigênio necessária para sua estabilização (JUNQUEIRA *et al.*, 1999). Em geral as amostras altamente poluídas apresentam valores elevados de DQO, podendo atingir valores acima de 80.000 mg/L, no caso de um aterro sanitário (VARGAS, 1998).

A DQO é usada como a medida de oxigênio requerida para a estabilização da matéria orgânica contida em uma determinada amostra, suscetível à oxidação por um oxidante químico forte. Esta análise é largamente utilizada para medir indiretamente o potencial poluidor de efluentes domésticos e industriais (BARROS, 2004).

3.5.2. Análise de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A análise de DBO foi feita de acordo com o Método 5210 B. do *Standard Methods for the examination of Water and Wastewater (1995)*. Esta análise tem por finalidade medir as concentrações de oxigênio dissolvidos em um período de tempo usualmente de 5 dias, onde a amostra fica selada e mantida a temperatura constante, normalmente 20°C. O

resultado da DBO_5 é expresso em mg/litro. Segundo o manual do fabricante Hach – DBO_5 , aparelho utilizado para esta análise, a medida do pH deve estar na faixa entre 7 e 8, sendo essa a faixa ótima para o desenvolvimento bacteriano.

Segundo Barros (2004), A DBO_5 é a quantidade de oxigênio necessária para a estabilização bioquímica da matéria orgânica presente em uma amostra; sendo, portanto, uma medida indireta da quantidade de matéria orgânica biodegradável existente na amostra.

3.5.3. Medida de pH

Para a medida do pH utilizou-se o pH-metro digital, marca Orion e a medida foi feita de forma direta, assim como a condutividade, colocando-se o eletrodo em contato direto com a amostra. A calibração do aparelho foi feita de acordo com as orientações, da Norma CETESB -L5.145.

3.5.4. Cor e Turbidez

Para medição da cor usou-se o sistema fotométrico, utilizando espectrofotômetro, modelo Spectroquant Nova 60 (MERCK), e para a turbidez foi usado o método nefelométrico (APHA, 1995), utilizando um turbidímetro modelo turbiquant 1000 IR (MERCK KGa A).

Branco (1986) A presença de substância pigmentada, em solução ou dispersão coloidal na água, ou a de partículas (silte, areia, etc.) em suspensão, causando, respectivamente um aumento de cor e de turbidez, pode afetar a vida característica de um dado manancial, de duas maneiras: Dificultando a penetração da luz solar essencial as reações fotossíntese; E o material em suspensão(no caso da turbidez) sedimentando -se no fundo.

3.5.5. Medida dos Sólidos Totais

A medida é realizada de acordo com a Norma L5.149 da CETESB, foi utilizado o método A, para resíduo total. O procedimento se inicia com o preparo da cápsula (cadinho de porcelana), deve-se deixar a cápsula limpa na mufla à 550°C por uma hora, esfriar no dessecador, pesar com precisão de $\pm 0,1$ mg e deixar no dessecador até o momento do uso. Após isto, uma porção homogênea de amostra de volume adequado é transferida quantitativamente para uma cápsula de evaporação, a evaporação é feita em banho Maria

ou em chapa, e seca na estufa. O aumento do peso em relação ao peso da cápsula vazia corresponde ao resíduo total. A determinação do resíduo fixo é feita após a determinação do resíduo total, este é submetido à ignição a 550°C por uma hora na mufla, o material restante representa o resíduo fixo. A determinação do resíduo volátil se dá pela diferença entre o resíduo total e o resíduo fixo.

VENKATARAMANI *et.al.*, (1983) citados em BARROS (2004), ressaltam a importância da análise da relação sólidos voláteis totais por sólidos fixos totais, ou seja, (SVT/SFT), na determinação da tratabilidade biológica do percolado, sendo que quanto maior for esta relação, maior também será a probabilidade de um bom tratamento biológico.

3.5.6. Medida da Condutividade Elétrica

A medida da condutividade é feita de forma direta, colocando-se o eletrodo em contato com a amostra. O condutivímetro utilizado foi da Marca Orion.

3.5.7. Metais

A análise dos metais foi realizada pelo aparelho Espectroscopia de Absorção Atômica da marca Merck Spectraquant Nova 60. REIS & ELLWANGER (2004), citam que os metais pesados, principalmente cádmio, cobre, chumbo e zinco, estão presentes na fração orgânica do composto do resíduo urbano, em concentrações relativamente elevadas.

- **Chumbo:** Com densidade de 11,34g/cm³. A contaminação da água pelo chumbo provoca a destruição de hemoglobina dos peixes e retarda o crescimento de vários organismos. No homem o chumbo é acumulativo, no cérebro provoca encefalites graves, além disso, podem causar enfermidades como anemias, problemas renais, paralisia, melancolia, glaucoma e outras doenças. Valores mais elevados nas amostras do aterro podem ser devido à degradação dos resíduos ali depositados, uma vez que o chumbo esta presente em muitos materiais, principalmente as tintas.
- **Cromo:** com densidade de 7,19g/m³, é usado na fabricação de ligas metálicas empregadas nas indústrias de transporte, construções e fabricação de tijolos e refratários; é utilizado, também na indústria têxtil, fotográfica e vidros. O Cr é um elemento essencial ao ser humano, que se mostra necessário para o metabolismo da glicose, lipídeos e para a utilização de aminoácidos em vários sistemas, parece ser

importante também, para a prevenção de diabete e arteriosclerose. São largamente empregados na indústria, principalmente o hexavalente, porém as formas trivalentes são consideradas inócuas a saúde, há evidências de que os cromatos, em doses elevadas têm efeito corrosivo no aparelho digestivo e produzem nefrite. (BRANCO & ROCHA, 1977),

- **Manganês:** Possui densidade de $7,43\text{g/cm}^3$. Muito usado na manufatura do aço de compostos químicos, pilhas, eletrodos para solda em ligas com o níquel e o cobre, na indústria de fertilizantes e fungicidas (SISINNO E OLIVEIRA, 2000).

3.5.8. Nitrogênio Total

Método eletrométrico, utilizando eletrodo de íon seletivo – Orion, Modelo 720 SMEWW 4500 - NH_3 . Geralmente a presença de compostos nitrogenados na água são resultados da decomposição das proteínas (matéria orgânica), sendo este um nutriente importante para várias culturas. A presença de nitrogênio em corpos d'água pode ocasionar o aparecimento de algas, que provocam elevada coloração, odor e sabor. A amônia ou o nitrogênio amoniacal podem estar naturalmente presentes nas águas de superfície ou subterrâneas como resultado da decomposição da matéria orgânica, sendo que a amônia é tóxica. A concentração de nitrogênio é diretamente proporcional à presença de matéria orgânica em uma amostra (SOUZA, 2005).

3.5.9. Coliformes Totais e Termotolerantes

A pesquisa da bactéria do grupo Coliforme é fundamentada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998)*. A técnica utilizada tem sido a dos tubos múltiplos que consiste no inóculo de volumes decrescentes da amostra, em meio de cultura adequado ao crescimento dos microrganismos pesquisados, sendo cada volume inoculado em uma série de tubos.

Para análises da suspensão de lixo, têm sido utilizadas preferencialmente diluições da amostra original até 10^6 , usando-se, geralmente, séries de cinco tubos para cada diluição a ser inoculada. Os resultados são avaliados através da tabela de Hoskins, que permite a obtenção de uma estimativa da densidade original das bactérias pesquisadas, através da aplicação de cálculos de probabilidade (N.M.P.: número mais provável) que é expressa como NMP por 100 mL.

3.6. Avaliação do Recurso Solar e Precipitação

Para monitoração do recurso solar foram analisados: O comportamento da radiação solar direta e difusa, os dados de temperatura, os dados de evaporação e os dados pluviométricos, de forma que se possa avaliar o rendimento da evaporação do lixiviado, ou seja, o quanto de água destilada foi produzido a cada dia.

3.6.1. Radiação Solar Direta e Difusa

Os dados de radiação solar foram fornecidos pelo Grupo de Fontes Alternativas de Energia do Departamento de Energia solar da UFPE (DEN). A Figura 3.23 mostra o equipamento que faz o monitoramento da radiação todos os dias durante as 24h do dia, Piranômetro modelo LI-200 do fabricante LICOR. Porém para essa pesquisa os dados coletados foram das 5 h da manhã até as 17: 30 da tarde, ou seja, período do nascer até o por do sol.



Figura 3.23: Equipamento de monitoração de Radiação solar

3.6.2. Temperatura

Foram monitoradas a temperatura no interior do evaporador solar e a temperatura ambiente das 05:00h às 17:30h. Os dados foram obtidos através de sensores de temperatura, LM 35 (Figura 3.24) e transferidos para o DATALOG (Figura 3.25) fornecidos pelo DEN (Departamento de Energia Nuclear), onde armazenam em segundos as temperaturas ao longo do dia.



Figura 3.24: Medição da temperatura interna do Evaporador solar e temperatura ambiente através de um sensor



Figura 3.25: Aparelho que mede as temperaturas (DATALOG)

3.6.3. Dados Pluviométricos

Para acompanhamento da influência da chuva, os dados foram obtidos através de um pluviômetro (Figura 3.26), localizado no ITEP (Instituto de Tecnologia de Pernambuco). O ITEP forneceu o relatório diário sobre o comportamento das chuvas ocorridas no bairro Cidade Universitária, onde está localizada a Universidade Federal de Pernambuco.



Figura 3.26: Pluviômetro

3.7. Análise dos Gases

O equipamento portátil utilizados para avaliar as diferentes concentrações de gases produzidos pelo o lixiviado foi o foi o detector chamado X-am 7000 (Figura 3.27). Esse detector apresenta sensores para análise dos gases CO₂, CH₄, H₂S e O₂. O gás é bombeado para o aparelho, analisando internamente e depois lançado de volta.



Figura 3.27: Equipamento para análise dos gases.

3.8. Balanço Hídrico

Para a realização do balanço hídrico foi realizada a medição da variação do volume do lixiviado, ou seja, o quanto o lixiviado evaporou e o quanto o volume aumentou devido às chuvas. E a medição foi feita através de um paquímetro digital modelo 500-144B.



Figura 3.28: Paquímetro Digital

3.9. Cronograma de Análises

Na Tabela 9 é apresentada o cronograma de análise, ou seja, o resumo das frequências das análises estudadas de todas as Fases estudadas.

Tabela 9: Frequência das análises do lixiviado e destilado nas Fases estudadas

Parâmetro	Frequência					
<i>Físico-químico</i>	<i>Fase I</i>	<i>Fase II</i>	<i>Fase III</i>	<i>Fase IV</i>	<i>Fase V</i>	<i>Fase VI</i>
Demanda Química de Oxigênio (DQO):	Uma única vez	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Uma vez por semana
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)	Não realizado	Uma vez por mês	Uma vez por mês	Uma vez por mês	Uma vez por mês	Uma vez por mês
pH	Uma única vez	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Diariamente	Diariamente	Diariamente
Cor	Uma única vez	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Diariamente	Diariamente	Diariamente
Turbidez	Uma única vez	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Diariamente	Diariamente	Diariamente
Sólidos Totais (ST)	Uma única vez	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Diariamente	Diariamente	Diariamente
Condutividade	Uma única vez	Uma vez por semana	Uma vez p/ semana	Diariamente	Diariamente	Diariamente
Metais(Cr, Pb, Mn e Fé)	Uma única vez	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Uma vez por mês	Uma vez por mês	Uma vez por mês
Oxigênio Dissolvido	Uma única vez	Uma vez por semana	Uma vez por semana	Não realizado	Não realizado	Não realizado
Nitrogênio amoniacal	Não realizado	Não realizado	Não realizado	Não realizado	Diariamente	Diariamente
<i>Microbiológico</i>	<i>Fase I</i>	<i>Fase II</i>	<i>Fase III</i>	<i>Fase IV</i>	<i>Fase V</i>	<i>Fase VI</i>
Coliforme Total (NPJM/100ml)	Não realizado	Uma vez por mês	Não realizado	Uma vez por mês	Uma vez por mês	Uma vez por mês
Coliforme Fecal (NPJM/100ml)	Não realizado	Uma vez por mês	Não realizado	Uma vez por mês	Uma vez por mês	Uma vez por mês

CAPITULO IV

ANÁLISES DOS RESULTADOS

4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos do monitoramento da operação do evaporador solar para avaliação do comportamento e da eficiência do sistema. Os ensaios com o sistema fechado foram realizados de Janeiro a Novembro de 2007, tendo sido dividido em seis fases. De Outubro de 2007 a Fevereiro de 2008, realizaram-se os ensaios com o sistema aberto. Nos resultados obtidos foram analisados: a) Determinação das análises físico-químicas das fases pesquisadas (Lixiviado e Destilado), b) Influência da radiação solar no evaporador; c) Influência da temperatura; d) Estudo do Balanço hídrico e) Estudo do Evaporador Aberto.

4.1. Estudos Iniciais do Sistema Fechado de Tratamento de Lixiviado por Evaporação

4.1.1 Fase I

Vale ressaltar que a Fase I deste estudo foi um teste, de modo que esse experimento serviu para familiarização com o evaporador solar, no sentido de verificar seu funcionamento. As análises físico-químicas escolhidas foram realizadas uma única vez, houve a necessidade de esperar o evaporador solar secar totalmente para verificar quanto tempo em média levaria para secar totalmente em condições climáticas favoráveis, ou seja, o experimento começou no mês de Janeiro (mês com levadas temperaturas). O experimento durou assim um mês para secar totalmente, ou seja, ficar somente o resíduo sólido no fundo do evaporador solar.

A Figura. 4.1 apresenta o lixiviado utilizado no experimento e o destilado obtido. O pH encontrado no lixiviado do aterro apresentou um valor de 8,5. Este valor está na faixa dos observados no Aterro da Muribeca, sendo típicos de percolado provenientes de aterros com idade já avançada. O pH do destilado foi 8,71, indicando pH levemente alcalino, não apresentando assim uma grande variação em relação ao lixiviado. Os resultados da condutividade elétrica, encontrados para o lixiviado do aterro, foram de 14,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e do destilado foi de 6,12 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando uma redução significativa de sais.



Figura 4.1: Líquido lixiviado e destilado.

Para as análises de Cor, Turbidez, Sólidos totais, houve uma remoção de praticamente 100%, ou seja, o valor da turbidez realizada no lixiviado do aterro foi de 61,42 UNT e no destilado foi de 0,14 UNT. A cor do lixiviado foi de 13.400 Hz (unidade Hazen) e do destilado 0,052 Hz. Observa-se nesses resultados a redução dos valores, isso ocorre porque a água destilada é mais pura e, portanto livre de material em suspensão (principal causador da turbidez).

Através da análise dos sólidos totais (ST), classificados em fixos e voláteis, pode-se ter informação da composição dos mesmos, pois os fixos correspondem à fração inorgânica e os voláteis à orgânica. A concentração de sólidos totais encontrados no aterro da Muribeca foi de 14.763 mg/L, enquanto que no destilado quase não foi encontrado sólidos, pois a sua concentração de ST apresentou um valor de 0,0031mg/L.

Os metais pesados analisados nesse estudo foram: Cromo, Manganês, e Ferro. Verificou-se que os resultados dos metais não ultrapassaram o valor 1,0 mg/L com exceção do Ferro no lixiviado, por falta do kit de análise o chumbo não foi realizado. Sendo que os resultados do destilado estão dentro dos parâmetros da resolução CONAMA 357/2005, conforme pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10: Resultados dos metais analisados no lixiviado e no destilado

Metal	Lixiviado	Destilado	Padrões CONAMA 357/2005
Cromo (mg/L)	0,67	< 0,03	0,05
Manganês (mg/L)	1,52	< 0,50	0,5
Ferro (mg/L)	4,87	< 0,03	5,0

4.1.2. Fase II

Nessa fase o experimento também teve duração de um mês sendo coletados uma vez por semana para cor, turbidez, sólidos totais, metais e DQO. As análises de DBO e coliforme fecal e total foram realizadas uma vez ao mês. No estudo dessa fase pode-se observar as variações do líquido destilado com o tempo, e conseqüentemente, redução de volume do lixiviado.

As Figuras 4.2 e 4.3 apresentam os resultados da variação da Cor e Turbidez, onde é observada a ocorrência dos picos no 1º e 29º dias. O evaporador solar foi preenchido com lixiviado no dia 26/Fev (1º) às 10 horas da manhã. No 2º dia já havia água destilada suficiente para realização das análises. Este fato ocorreu devido à alta radiação solar no mês de estudo. Observando os gráficos das Figuras citadas, observam-se picos nos primeiros dias de experimentos. A explicação se dá devido ao arraste de componentes mais leves junto com a água durante o início da evaporação. Foi detectado, sensorialmente, a presença de amônia no destilado nos primeiros dias do experimento, sendo assim nos experimentos futuros este parâmetro também será monitorado.

Na 4ª semana de experimento, o evaporador estava praticamente vazio, mesmo assim ainda estava ocorrendo evaporação. Nestas condições, o fluxo convectivo dos vapores pode ter arrastado partículas do sólido seco, incorporando-as ao destilado. Este fato pode explicar o segundo pico, que foi observado no 29º dia.

Comparando a Cor e Turbidez do lixiviado que foi de 16875,00 Hz e 105,51 UNT respectivamente, como a Cor e Turbidez do destilador tiveram variações de 53 a 4 Hz e 9,16 a 1,8 UNT, respectivamente.

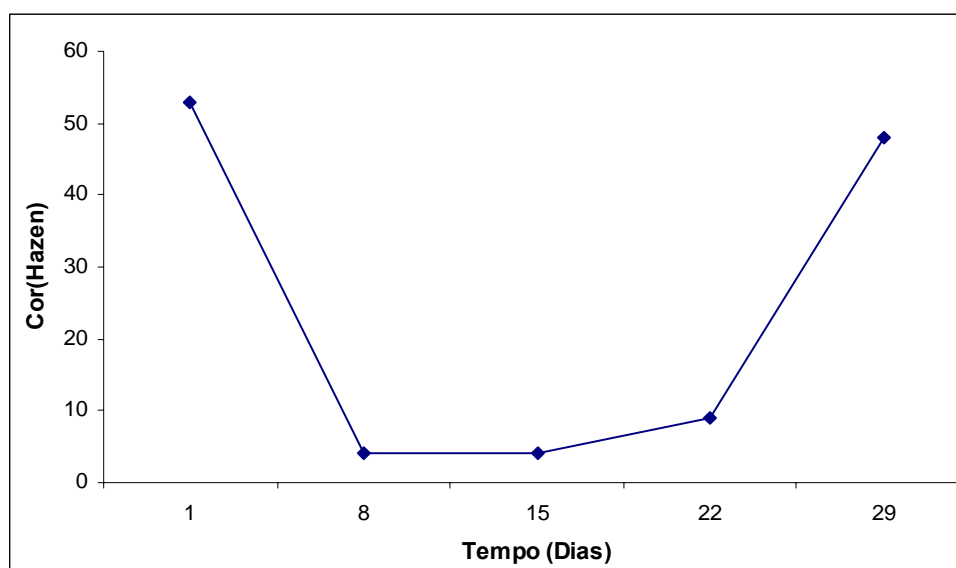


Figura 4.2: Variação da Cor da água destilada

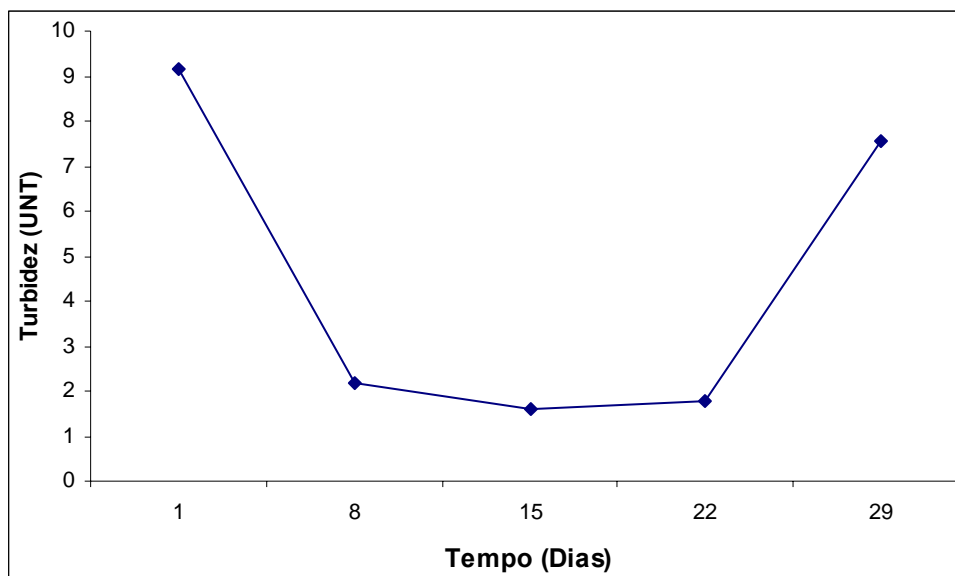


Figura 4.3: Variação da Turbidez da água destilada

Os valores do oxigênio dissolvido do destilado (Figura 4.4) estão entre os valores 5,8 a 5,2 mg/L, com isso estão dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 que é de superior a 2,0 mg/L.

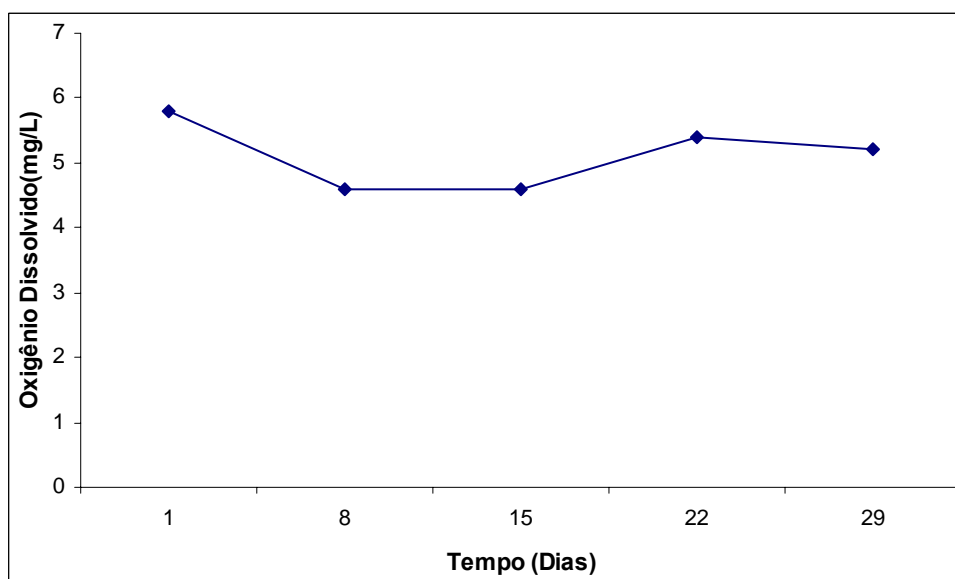


Figura 4.4: Variação do Oxigênio Dissolvido da água destilada

A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água.

O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem ocasionados

por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, etc. A condutividade elétrica da água pode variar de acordo com a temperatura e a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas. Em águas cujos valores de pH se localizam nas faixas extremas ($\text{pH} > 9$ ou $\text{pH} < 5$), os valores de condutividade são devidos apenas às altas concentrações de poucos íons em solução, dentre os quais os mais frequentes são o H^+ e o OH^- (www.educar.sc.usp.br/biologia/prociencias).

O gráfico da Figura 4.5 apresenta os dados de condutividade variando em função do tempo, à ocorrência do pico ocorreu no 22º dia que foi de $7,13 \mu\text{S}/\text{cm}^2$. Todavia este pico não foi muito alto, pois os valores anteriores apresentaram-se 20% abaixo do valor deste pico.

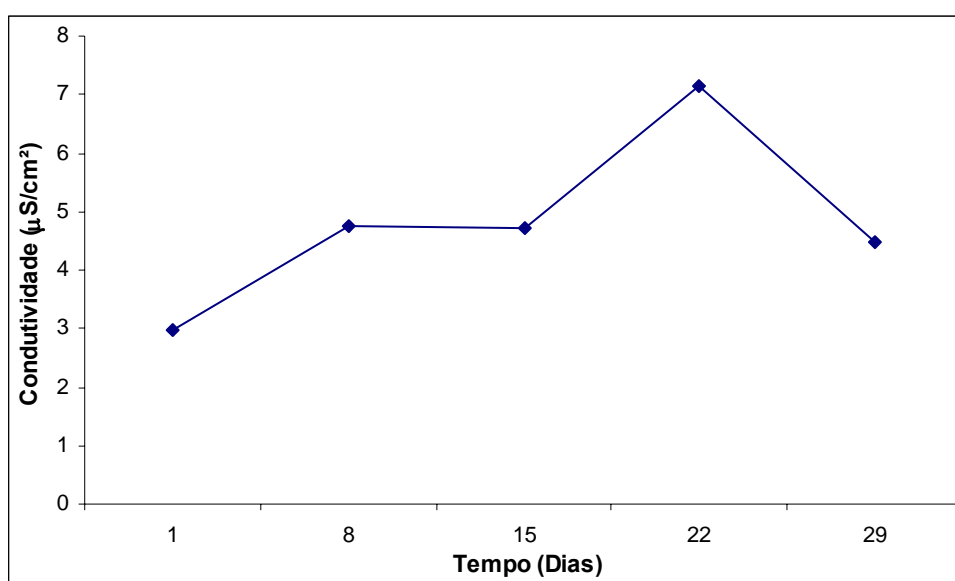


Figura 4.5: Variação da Condutividade Elétrica da água destilada

De acordo com Von Sperling (1996), todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos, ou seja, podem ser classificadas com seu tamanho e estado, as suas características químicas e sua decantabilidade. De acordo com o gráfico da Figura 4.6, pode-se visualizar que as ocorrências dos maiores picos nos valores dos ST foram no 1º e 29º dias. Porém a quantidade de ST encontrados no destilado é insignificante frente à concentração de ST contidos no lixiviado que tem o valor de $17080 \text{ mg}/\text{L}$.

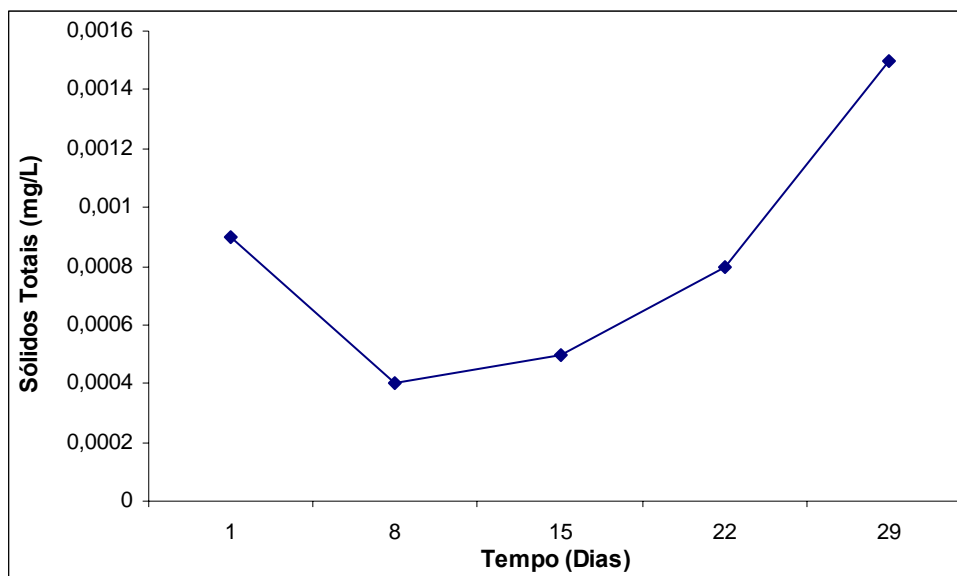


Figura 4.6: Variação dos Sólidos Totais da água destilada

Através da Figura 4.7 pode-se visualizar que a ocorrência do maior pico do pH foi a partir do 22º dia, indicando que o aumento da condutividade foi devido à íons que aumentaram a basicidade do meio. Ressalta-se que estas variações são insignificativas, pois os valores máximos e mínimos diferem em 0,5. Constatou-se também que os valores do pH são sempre superiores a 8, então mostra que o destilado é uma água ligeiramente básica, assim como o lixiviado de origem.

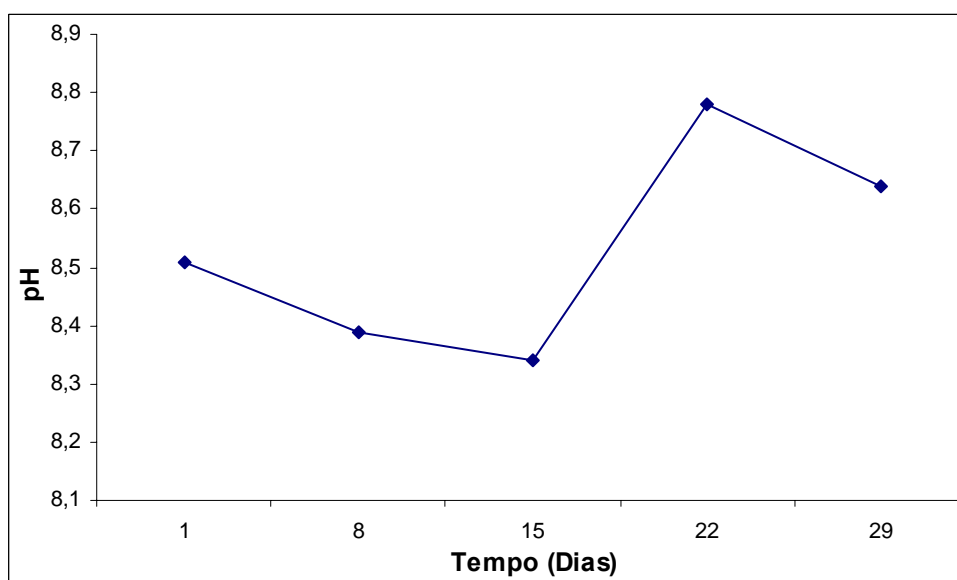


Figura 4.7: Variação do pH da água destilada

REIS & ELLWANGER (2004), citam que os metais pesados, principalmente cádmio, cobre, chumbo e zinco, estão presentes na fração orgânica do composto do resíduo urbano, em concentrações relativamente elevadas. O gráfico da Figura 4.8 mostra que as ocorrências dos maiores picos foram no 8º dias para o Cr e no 22º dia para Pb. Já Fe e Mn

continuaram constantes. Estes valores podem ter dado constantes devido ao limite de detecção do aparelho. Os metais analisados estão de acordo com o CONAMA 357/2005 para lançamento de efluentes.

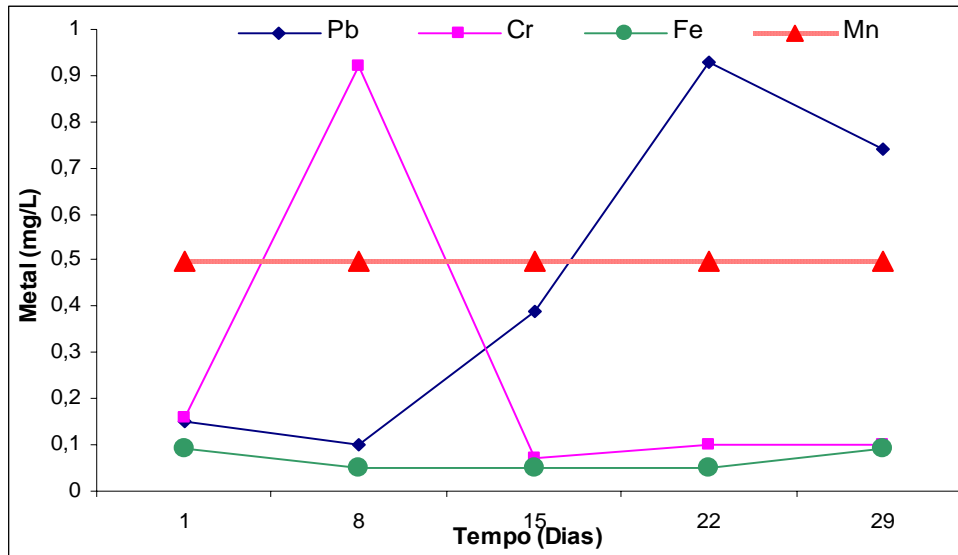


Figura 4.8: Variação da concentração de metais na água destilada.

Os valores da DQO, variou de 223 a 115 mg O₂/L durante o período de análise, como mostra a Figura 4.9. Comparando-se os valores de DQO obtidos no destilado com os valores encontrados no lixiviado que foi de 9.214 mg O₂/L, pode-se afirmar que a redução foi bastante significativa.

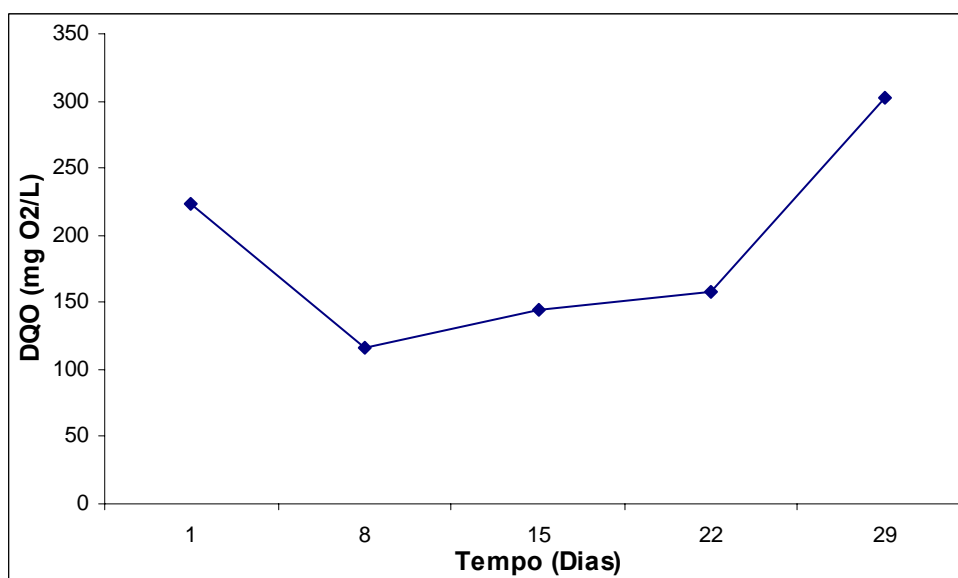


Figura 4.9: Gráfico do DQO da água destilada

As análises da DBO₅, coliformes totais e termotolerantes do destilado, foram analisadas só uma vez ao mês. Esse resultado foi suficiente para saber que o líquido tratado está apto a ser lançado num corpo receptor. O resultado da DBO do destilado foi de

35mgO₂/L, comparando com a DBO do lixiviado que foi de 8.851mgO₂/L. Os coliformes totais e termotolerantes do lixiviado foram de 5,0 x10⁵ e 3,0 x 10⁵ respectivamente e do destilado foram menores que 2,0 para ambos, indicando que neste efluente não há mais contaminações microbianas. De acordo com Marcelo (1996) *Apud Bezerra et al.* (2004), a redução de quase 100% dos coliformes totais e fecais do destilado, se dá pelo aquecimento no evaporador pela radiação solar, ocorre uma desinfecção do líquido, ou seja, essa fonte de energética ocasiona a destruição de microrganismos. Esse líquido armazenado na bandeja recebendo uma temperatura superior a 40 °C proporciona uma pasteurização, inativando os microrganismos patogênicos.

4.1.3. Fase III

A duração da fase III foi de menos de um mês, tendo sido realizada em Abril de 2007. Devido a problemas técnicos que ocorreram durante o experimento, não foi possível realizar ensaios nos meses de maio e julho. A paralisação do experimento foi porque a cobertura de vidro do evaporador solar foi atacada, causando a oxidação da mesma (Figura 4.10). Esta se deveu aos gases que são liberados pelo lixiviado na hora da sua decomposição e a própria oxidação do material. Logo o experimento foi novamente paralisado para aguardar a nova cobertura de vidro do evaporador, desta vez fabricada em aço inox (Figura 4.11).



Figura 4.10: Ataque da ferrugem à cobertura de vidro do evaporador solar e contaminação do destilador



Figura 4.11: Nova cobertura de vidro para o Evaporador solar

A ferrugem provocou um aumento na turbidez e na cor, conforme pode ser observado nas Figuras 4.12 e 4.13, respectivamente.

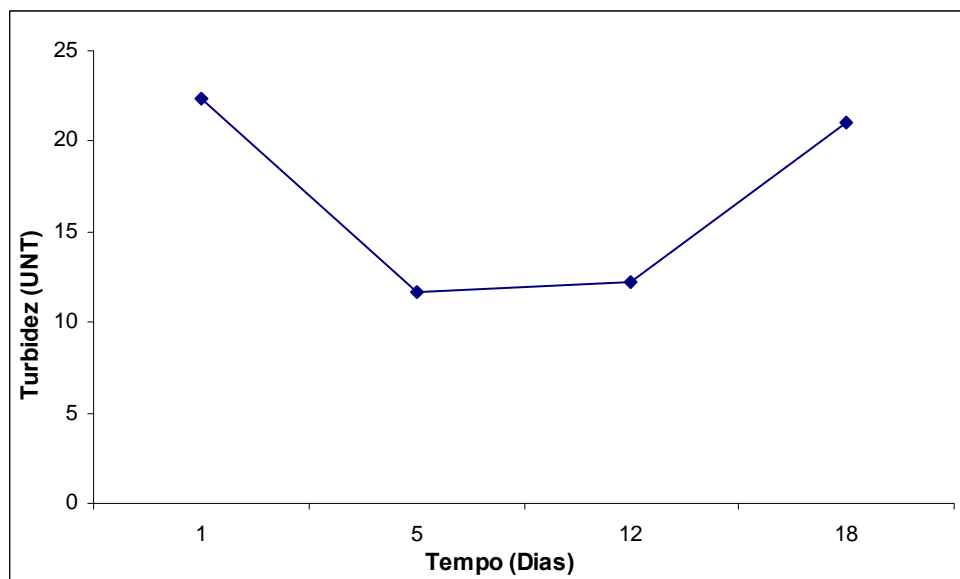


Figura 4.12: Variação da Turbidez da água destilada

Ao se comparar as Figuras 4.3 e 4.12, pode-se observar que ambas apresentam a mesma forma, todavia os valores da primeira situam-se abaixo de 9,0 UNT.

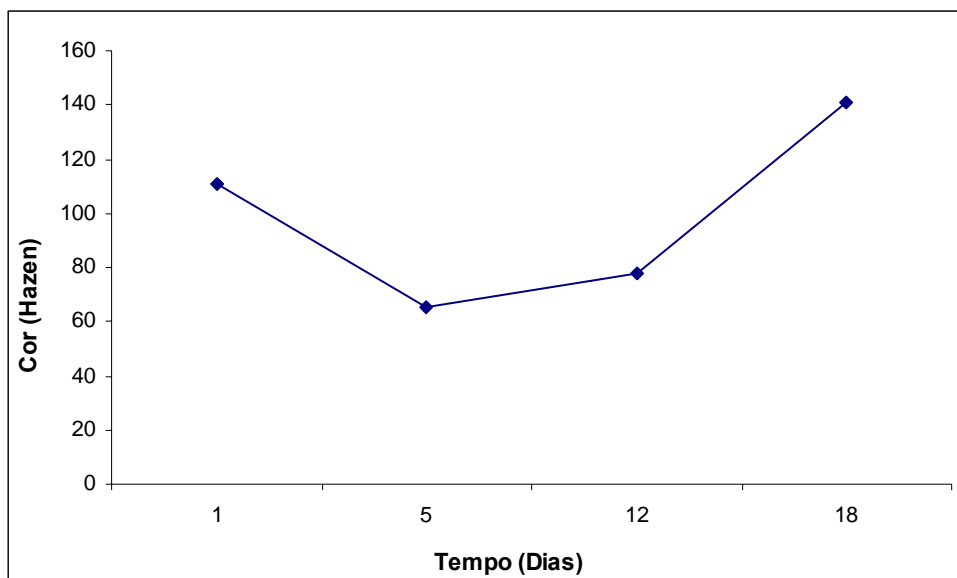


Figura 4.13: Variação da Cor da água destilada

Para a concentração de sólidos totais também foi observado o mesmo comportamento que na Fase II (Figura 4.6). Apesar da caracterização completa dos sólidos não ter sido realizada (determinação dos sólidos suspensos e dissolvidos), pode-se considerar que este aumento da cor foi causada pelos sólidos dissolvidos e o da turbidez pelos sólidos suspensos.

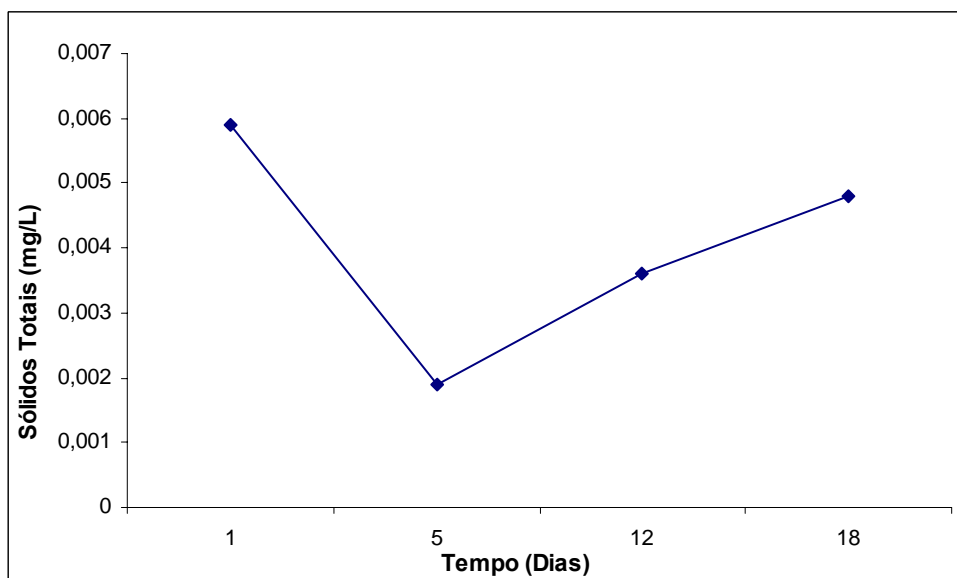


Figura 4.14: Variação dos Sólidos Totais na água destilada

O aumento da concentração de sólidos dissolvidos na água destilada pode também ser evidenciada pelo aumento da condutividade, como mostra a Figura 4.15.

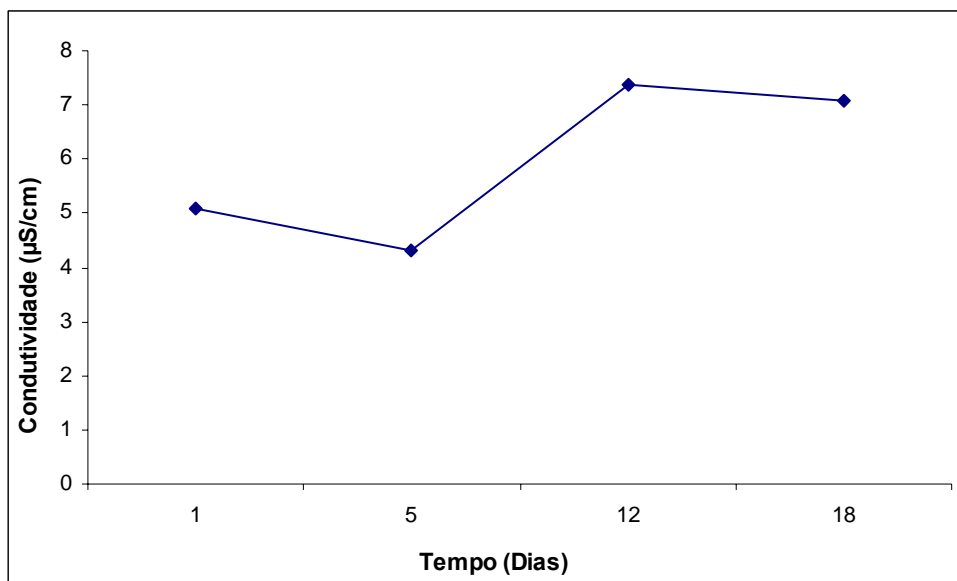


Figura 4.15: Variação da variação da Condutividade na água destilada

No que tange o valor do pH, o mesmo situou-se dentro dos padrões do CONAMA 357/2005 para descarte, com um valor de cerca de 8,6, apresentando-se relativamente estável. A Figura 4.16 apresenta a evolução do pH, onde observa-se que as variações são muito pequenas (0,5 entre o mínimo e o máximo). Todavia, foi observada uma tendência de aumento, possivelmente pela entrada da ferrugem.

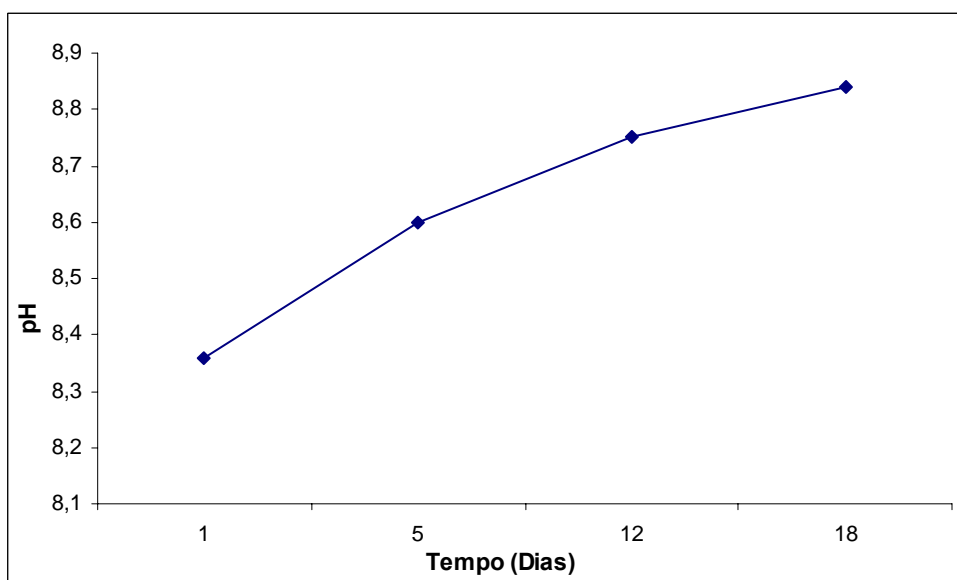


Figura 4.16: Variação da variação do pH da água destilada

A concentração de oxigênio dissolvido permaneceu dentro da faixa do experimento anterior (Figura 4.18) e dentro dos limites para descarte. Não foi observada variação significativa ao longo do experimento.

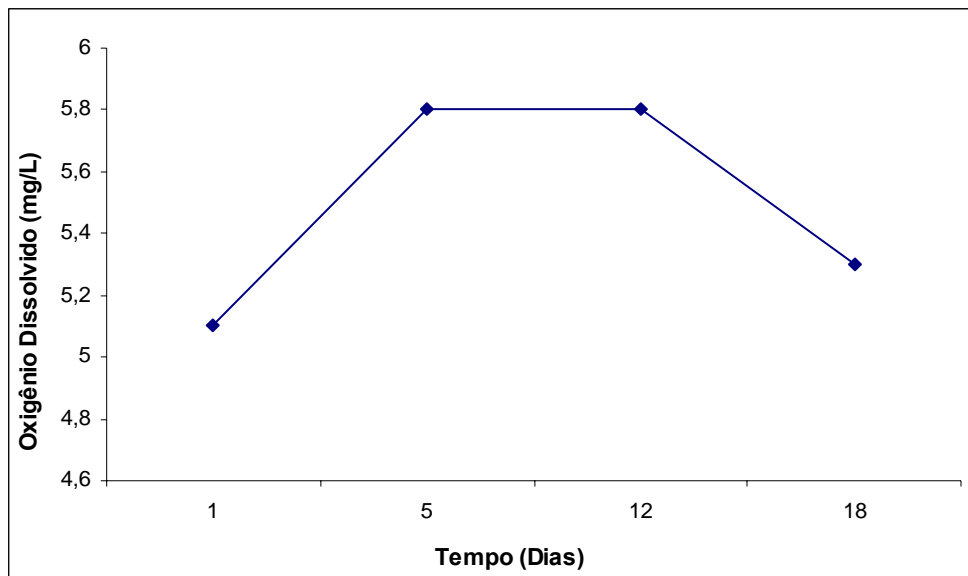


Figura 4.17: Variação da variação do Oxigênio Dissolvido da água destilada

A análise dos metais permitiu verificar que as suas concentrações foram abaixo de 1 mg/L, sendo o metal de maior concentração o chumbo, oriundo da refinação do zinco aplicado na galvanização do ferro. De acordo com a CONAMA 357/05, os limites nos efluentes para descarte em corpos hídricos para o chumbo é de 0,5 mg/L. Desta forma a água ficou fora de padrão na primeira e última semana.

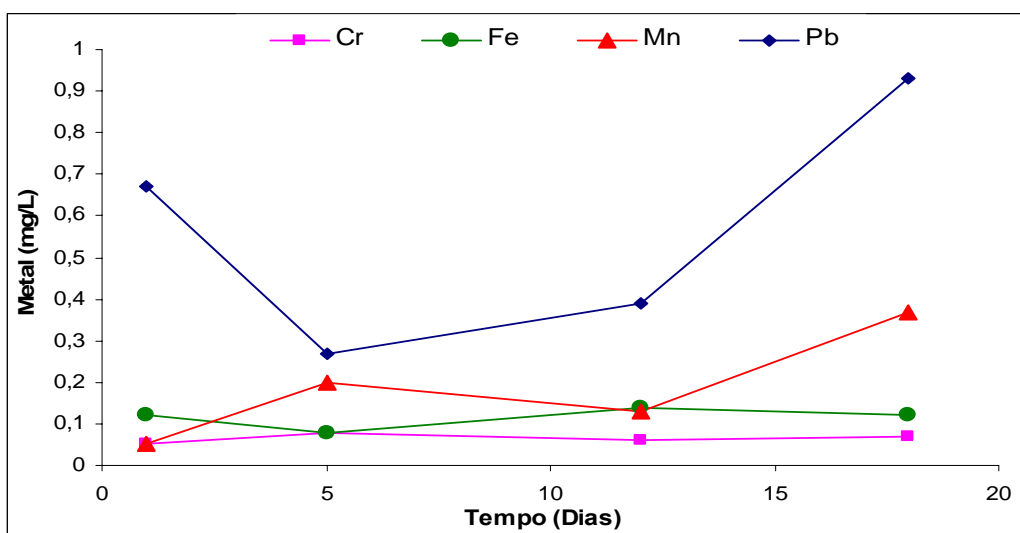


Figura 4.18: Variação da concentração de metais na água destilada.

Devido à corrosão, que aumentou significativamente, o experimento foi encerrado, mesmo sem ter chegado a evaporar todo o lixiviado.

A Tabela 11 apresenta um resumo dos resultados médios deste terceiro experimento, mostrando a eficiência em relação a diferentes parâmetros.

Tabela 11: Resumo dos resultados das análises estudadas e suas remoções

Parâmetro	Fase I			Fase II			Fase III		
	LIX	DES	%	LIX	DES	%	LIX	DES	%
Cor (Hazen)	13400	5,5	99,9	16875	25,2	99,8	6115	8,63	99,8
Turbidez (UNT)	61,4	1,45	97,6	105,5	4,44	95,7	200,1	16,82	91,5
Condutividade (µS/cm)	14120	6,12	99,9	15150	4,81	99,96	13120	8,13	99,9
Sólidos Totais (mg/L)	14.763	0,0031	99,9	17080	0,0053	99,9	7760	0,004	99,9
Cromo (mg/L)	0,67	0,03	95,5	0,3	0,29	0,83	0,31	0,06	79,0
Ferro (mg/L)	4,82	0,03	99,3	4,0	0,05	98,6	1,01	0,11	88,6
Manganês (mg/L)	1,52	0,5	67,1	1,6	0,13	91,8	1,02	0,18	82,4
DBO (mg/L)	-	-	-	8851	35	99,6	-	-	-
DQO (mg/L)	-	-	-	9214	188	97,9	9516,8	177,6	98,1
Coliformes Termotolerantes (NPJM/100 ml)	-	-	-	3x10 ⁵	2,0	99,9	-	-	-
Coliformes Totais (NPJM/100 ml)	-	-	-	5x10 ⁵	2,0	99,9	-	-	-

Onde: LIX – Lixiviado, DES- Destilado, % - Remoção.

De acordo com a Tabela referida verifica-se que todos os parâmetros apresentaram índices de remoção. Para cor, turbidez, sólidos totais e condutividade a remoção foi quase de 100%, a DQO, DBO e Coliformes só foram realizados na Fase II tendo também uma remoção quase de 100%. Porém o metal Mn na Fase I, e o Cr na Fase III, não foram muito satisfatórios na sua remoção.

4.2. Comportamento do Sistema Fechado de Tratamento de Lixiviado por Evaporação

4.2.1. Parâmetros Físico-químicos e Microbiológicos

Nesta parte do estudo as Fases IV, V e VI, foram estudadas juntas devido ao monitoramento da unidade ter os mesmos procedimentos. As análises realizadas diariamente foram: cor, turbidez, pH e condutividade e sólidos totais. As análises de DQO e metais foram realizadas uma vez na semana e DBO e coliformes totais e coliformes fecais e foram realizados uma vez ao mês.

O monitoramento da operação do destilador, para determinação de sua eficiência na remoção de contaminantes na Fase IV, foi realizado de 04 de julho a 12 de setembro de 2007, perfazendo um total de 70 dias. A razão deste tempo longo foi primeiramente a estação do ano estava mais chuvosa, além de pequenas infiltrações no teto do destilador

depois que foi trocado durante a Fase III. A Fase V iniciou dia 13 de setembro sendo finalizada 02 de outubro tendo uma duração de vinte dias, já a Fase VI teve duração de quatorze dias iniciando-se 01 de novembro e finalizando no dia 14 de novembro. Essas duas Fases apresentaram tempos menores, ocorreu porque se iniciava o verão na cidade do Recife e também deve ter acontecido perda de vapores pela a vedação do telhado.

A Figura 4.19 apresenta os valores de pH, que variaram entre 8,5 e 9,7, indicando assim um pH levemente alcalino. Desta forma, não apresentou uma grande variação em relação ao valor do lixiviado nas três fases (respectivamente 8,14, 8,52 e 8,63). Portanto o pH é básico, devido à presença principalmente da amônia que são transferidos para o destilado, tornando-o básico também.

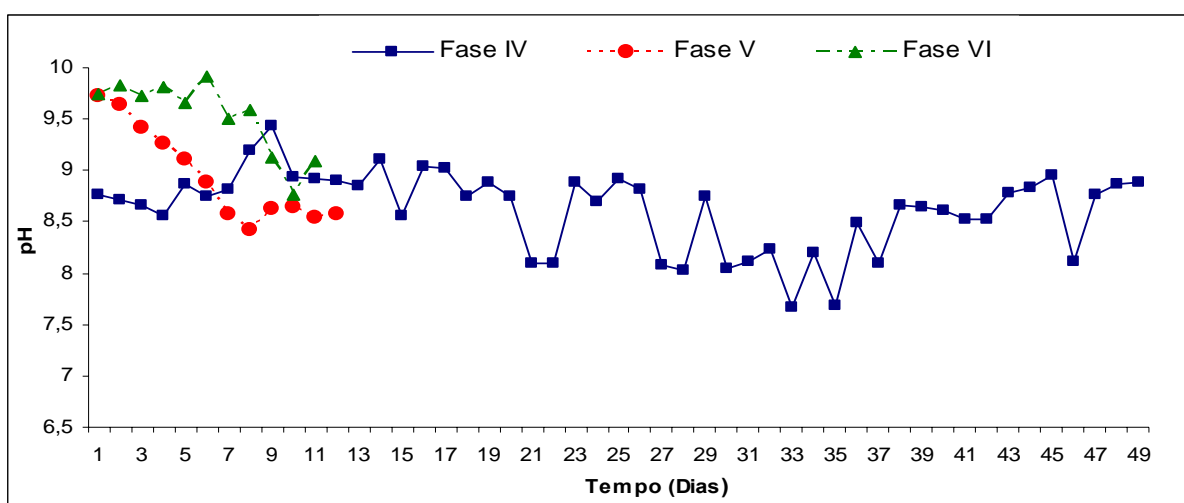


Figura 4.19: Variação do pH da água destilada

Na Figura 4.20 encontram-se os resultados para condutividade. É evidente a redução de condutividade no destilado e seu acréscimo no resíduo, haja vista que a destilação solar fornece uma água isenta de sais, que conferem condutividade à mesma.

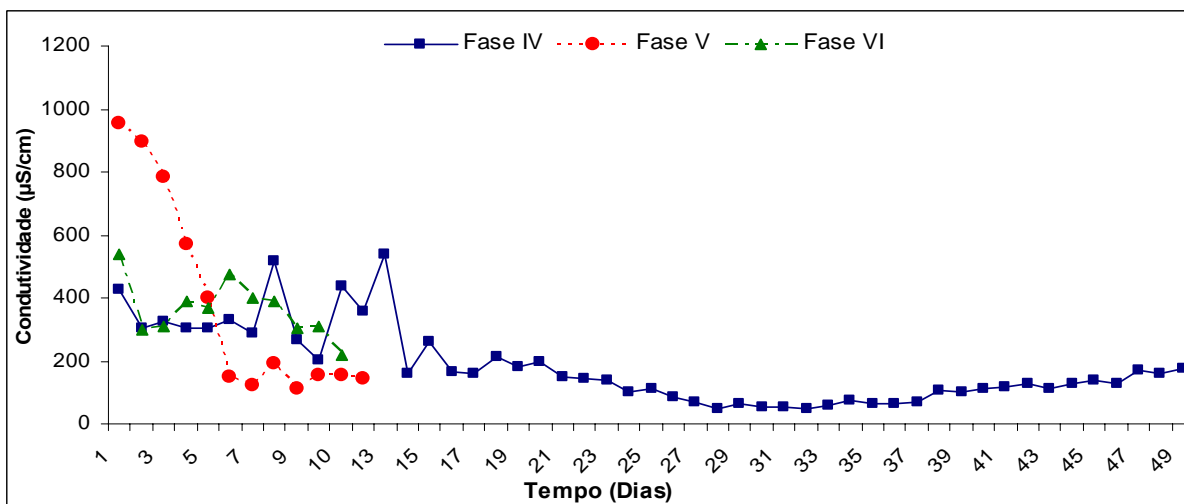


Figura 4.20: Variação da Condutividade Elétrica da água

As Figuras 4.21, 4.22 e 4.23 apresentam os resultados para as determinações da turbidez, cor e sólidos totais, respectivamente, da água destilada. Observa-se que a turbidez, cor e sólidos totais no Lixiviado nas Fases IV, V e VI são de 288, 613 e 170,4 UNT, 6115, 7180 e 11160 Hazen e 7760, 7702 e 11456 mg/L respectivamente. Essa redução ocorre porque a água destilada é uma água mais pura e, portanto, livre de material em suspensão (principal causador da turbidez e cor). O acréscimo da turbidez, cor, e sólidos totais, no resíduo no início do experimento deve-se principalmente ao arraste de pequenas partículas em suspensão e de substâncias voláteis.

Porém ocorreram alternâncias nos valores turbidez, cor e sólidos totais, este fato sugere duas hipóteses: os recipientes para a coleta não estavam devidamente lavados, ou ocorreu infiltração de partículas pela vedação dos vidros durante as chuvas. Mas esses fatos não aumentaram significativamente os valores das amostras estudadas.

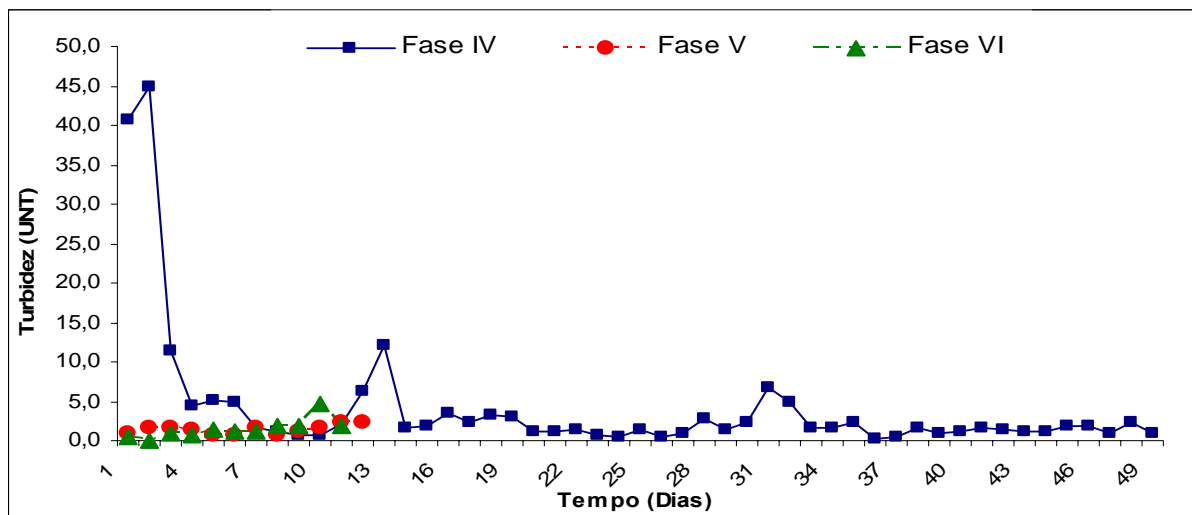


Figura 4.21: Variação da turbidez da água destilada

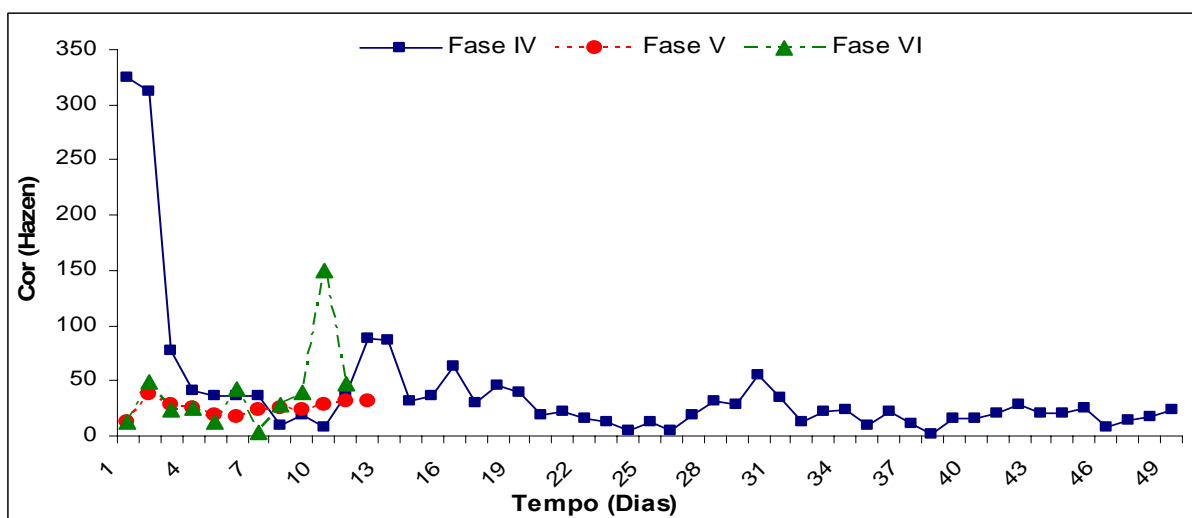


Figura 4.22: Variação da cor da água destilada

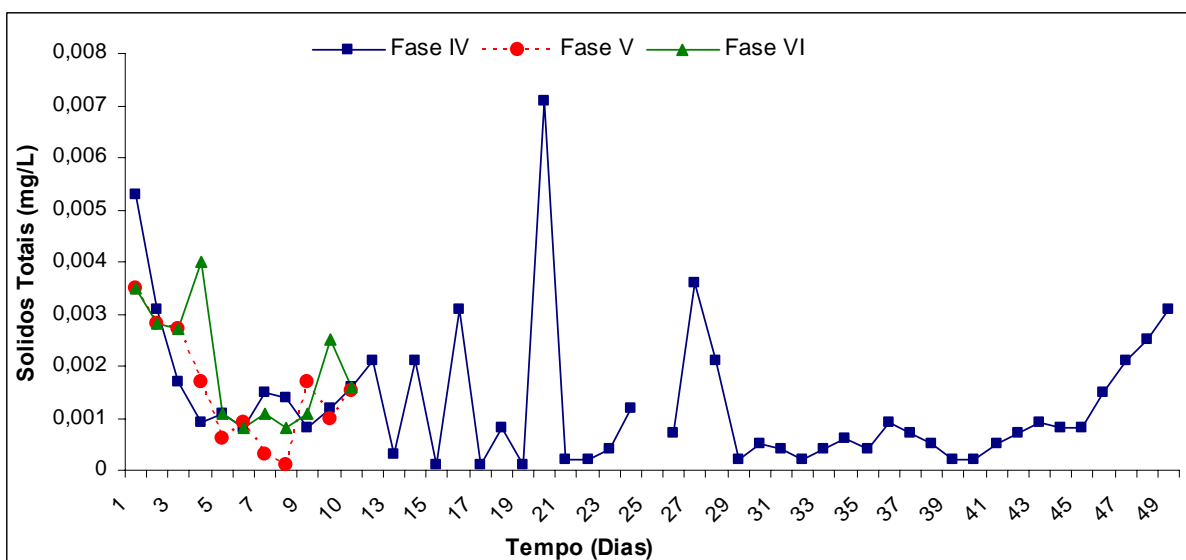


Figura 4.23: Variação dos Sólidos Totais da água destilada

Na Figura 4.24 são mostradas os resultados das análises da DQO. Observa-se que nas três fases estudadas, no primeiro dia sempre ocorre os maiores valores. Pode ocorrer que no início, os orgânicos voláteis sejam transferidos inicialmente da fase líquida (lixiviado) para o vapor e em seguida para a líquida (água destilada).

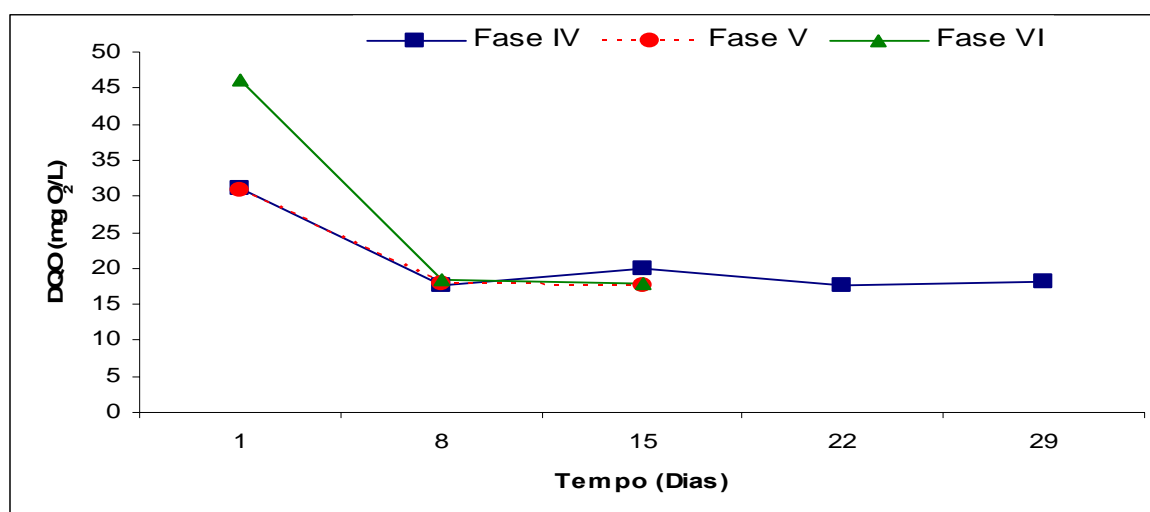


Figura 4.24: Variação do DQO da água destilada

O fato acima pode também explicar os elevados valores obtidos para a DBO, nas três fases que foram 29, 27, e 21mg O₂/L para as Fases IV, V e VI, respectivamente. Comparando estes, com os valores de DBO do lixiviado, 2164, 3644 e 4308 mg O₂/L, observam-se reduções acima de 98%. A Figura 4.25 mostra que não ocorre muita variação da DBO, entre os experimentos, ao final da primeira semana. Desta forma fica claro que o Evaporador Solar cumpre a função de remover as cargas orgânicas contidas no lixiviado. Todavia o valor obtido está acima do permitido pela resolução 357/05 do CONAMA. Vale

frisar que assim como a concentração da DQO foi reduzida ao longo do experimento, o mesmo deve ter acontecido para a DBO, de forma que se assumirmos a relação DBO/DQO como constante e adotarmos os valores da Fase VI, temos uma relação DBO/DQO de 0,46 e como a partir da segunda semana a DQO está um pouco abaixo de 20 mgO₂/L, logo a DBO estar abaixo de 10 mgO₂/L, respeitando assim a legislação.

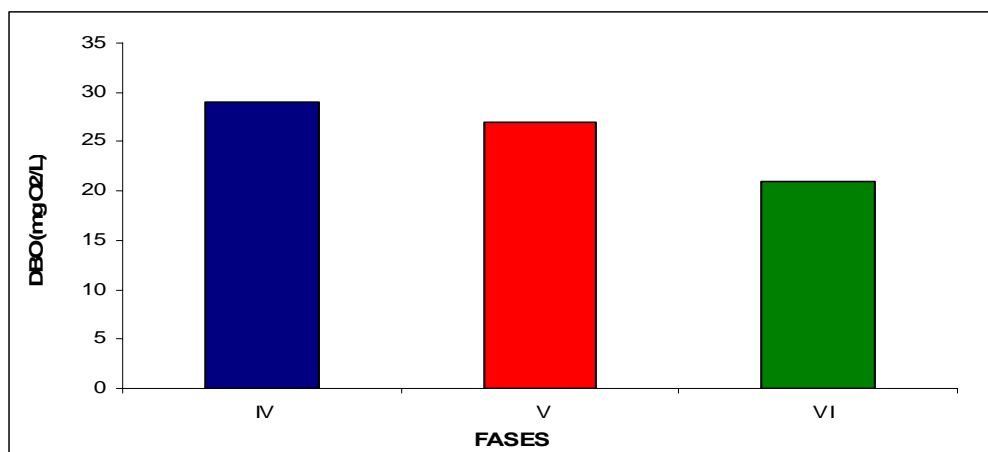


Figura 4.25: DBO da água destilada nas fases IV, V e VI, após a 1ª semana do experimento

Já os valores de coliformes totais e termotolerantes foram de $1,6 \times 10^6$ e $9,0 \times 10^4$ respectivamente, para Fase IV comparando esses valores em relação à fase anterior, nota-se que seus valores tiveram uma significativa elevação. O motivo desse aumento para as análises de coliforme pode ter sido contaminação durante a coleta.

Para as Fases V e VI, o resultado de coliformes totais e termotolerantes foi de ausência. Com base nos resultados obtidos nos experimentos, foi possível observar que o evaporador solar tem capacidade para reduzir a contaminação fecal a níveis compatíveis com o padrão de qualidade sanitária recomendado para lançamento de efluentes em corpos receptores naturais. De acordo com Saitoh & El-Ghetany (2002) *apud* Bezerra (2004), é destacado o uso da radiação solar para desinfecção de água residuárias. De acordo com o mesmo autor, a referência de águas contaminadas por determinado tempo em bandeja a temperaturas superiores a 65° C, proporcionam uma pasteurização, inativando os microrganismo patogênicos. Brandão (2000 *apud* PROSAB, 2001) afirma que para um elevado grau de contaminação, a eliminação total de coliformes pode ser conseguida com um tempo de exposição de duas horas a uma temperatura da água de 50° C. As temperaturas observadas no interior do equipamento (no ar) foram iguais ou superiores a este valor, indicando que o líquido estava a uma temperatura acima desta, garantindo assim a eliminação dos coliformes.

Também Oliveira *et al* (1999), diz que “a remoção de coliformes termotolerante e total é primariamente uma função do tempo, sendo que outros fatores influem, assim: temperatura, radiação solar, pH (acima de 9,0), OD (níveis de supersaturação), efeito de toxinas produzidas, predação, competição, sedimentação, potencial de oxi-redução, inanição e escassez de nutrientes orgânicos. Alguns desses fenômenos podem agir sinergicamente e com diferentes importâncias durante o processo”.

Para o estudo de metais não foi realizada a análise do chumbo, como nas primeiras Fases. Ao observar a Figura 4.26, constata-se que o Manganês, em todas as fases, se comportou da mesma forma, ou seja, apresentou um valor constante por atingir o limite de detecção. Já o Cromo, nas duas primeiras Fases apresentou pequenas variações, esse fato pode ser explicado pela infiltração causada pelas chuvas que arrastou componentes da cola de vedação (cola de silicone), porque na Fase VI foi o mês ocorreram poucas chuvas. Já a concentração de ferro ocorreu variações só na Fase IV, enquanto as outras Fases o seu valor não passou de 0,2 mg/L.

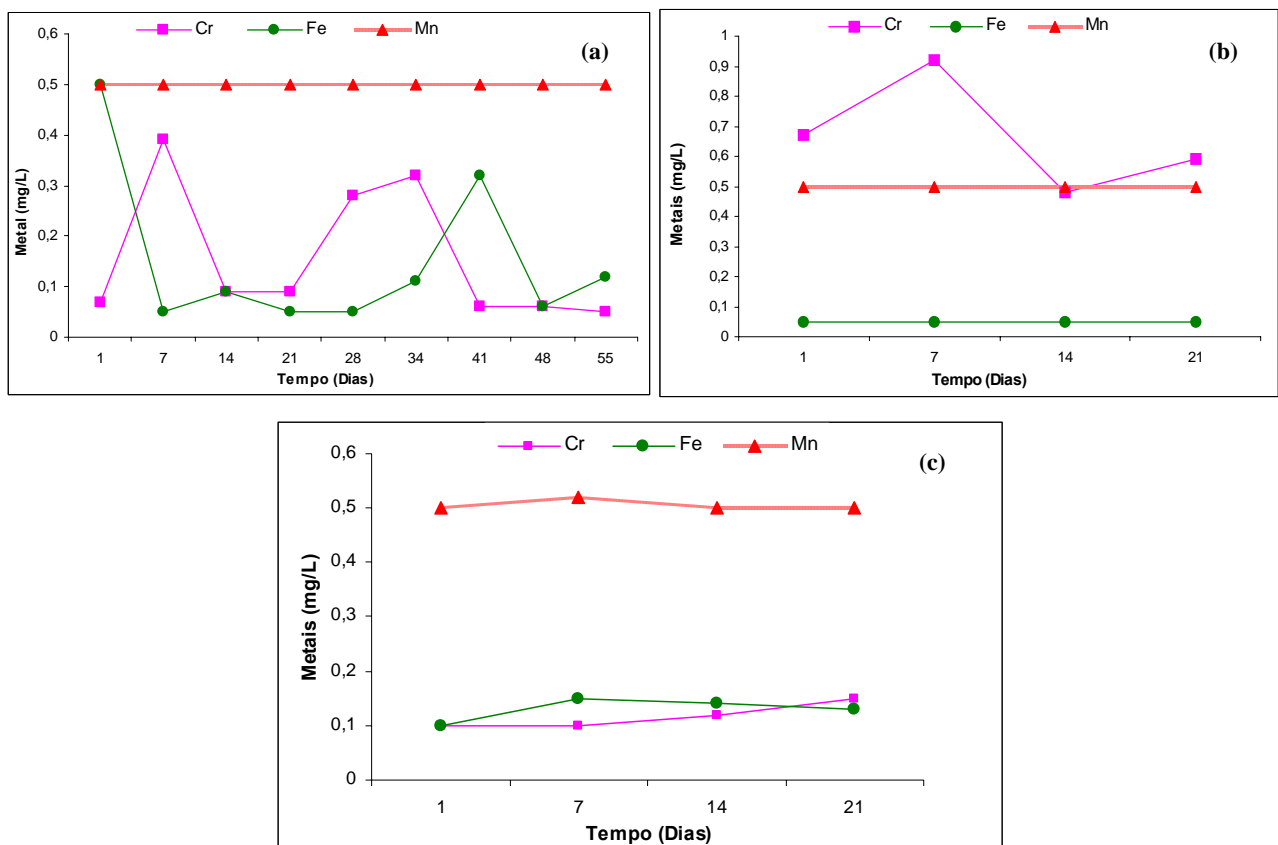


Figura 4.26: Valores dos metais nas três Fases pesquisadas. a) Fase IV, b) Fase V, c) Fase VI

A análise de amônia só foi realizada nas Fases V e VI, porém os resultados da Fase V foram descartados por erro de leitura. A água do destilado apresenta um forte odor de amônia, no início do experimento, devido ao “stripping” da amônia. A amônia é transferida

do lixiviado para o destilado (adsorção da amônia na água). A Figura 4.27 mostra a diminuição do nitrogênio amoniacal, com o decorrer dos dias, na água destilada. Com o passar do tempo o nitrogênio amoniacal do lixiviado foi sendo eliminado gradativamente através da água destilada.

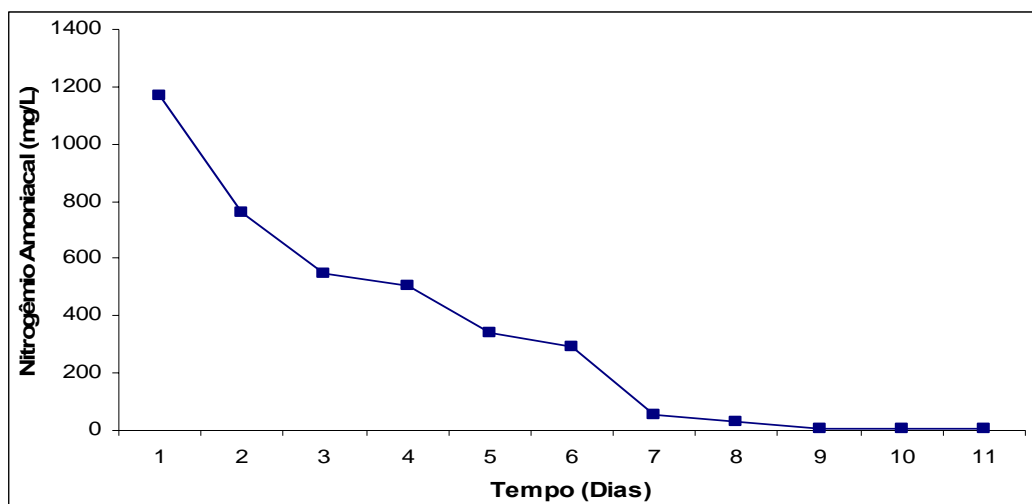


Figura 4.27: Variação dos valores do nitrogênio amoniacal da Fase VI

A amônia é um gás incolor a temperatura ambiente, que possui um odor extremamente forte e é consideravelmente mais leve que o ar (densidade relativa ao ar, 0, 5963). É bastante solúvel em água, pois a 20 °C e 1 atmosfera, um volume de água dissolve 702 volumes de amônia, resultando em uma solução alcalina (FELIX *et al*, 2004)

Os efluentes industriais e lixiviados de aterro sanitário são caracterizados por seu alto teor de proteína, a qual é responsável pela alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio em suas diferentes formas. O nitrogênio orgânico presente nestes efluentes é degradado principalmente à amônia, a qual não é oxidada em condições anaeróbicas. A descarga de efluentes contendo altas concentrações de amônia é indesejável, pois pode causar uma excessiva demanda de oxigênio nos corpos receptores, levando a eutrofização do meio. Além disso, pode proporcionar um aumento sensível do pH dos corpos hídricos, tornando-os tóxicos para muitas vidas aquáticas (TEIXEIRA, 1999).

A Tabela 12 apresenta o resumo dos resultados obtidos através do evaporador solar das Fases IV, V e VI, mostrando a eficiência em relação a diferentes parâmetros.

Tabela 12: Resumo dos resultados das análises estudadas e suas remoções

Parâmetros	Fase IV			Fase V			Fase VI		
	LIX	DES	%	LIX	DES	%	LIX	DES	%
Cor (Hazen)	6115	39,39	99,35	7180	25,08	99,65	11160	39,45	99,64
Turbidez (UNT)	288,1	4,10	98,57	613	1,37	99,77	170,4	1,46	99,14
Condutividade (μ S/cm)	12800	135,77	98,93	14945	345,1	97,69	22310	363,2	98,37
Sólidos Totais (mg/L)	7760	0,0012	99,99	7702	0,01	99,99	11456	0,0017	99,99
Cromo (mg/L)	0,7	0,15	77,61	0,75	0,66	12,0	0,37	0,15	58,22
Ferro (mg/L)	1,20	0,20	82,72	1,58	0,05	96,83	1,65	0,15	90,90
Manganês (mg/L)	1,15	0,5	56,52	1,64	0,5	69,51	1,55	0,5	67,74
DBO (mg/L)	2164	29	98,65	3644	27	99,25	2430	21	99,13
DQO (mg/L)	4308	31	99,28	4380	30,72	99,29	3967,3	46	98,84
Coliformes Termotolerante (NPJM/100ml)	3×10^6	9×10^4	97	5×10^5	0	100	5×10^5	0	100
Coliformes Totais (NPJM/100ml)	3×10^6	16×10^4	94	9×10^5	0	100	13×10^5	0	100

Onde: LIX – Lixiviado, DES- Destilado, % - Remoção.

O parâmetro que apresentou pior resultado foi o Cromo na Fase V, onde a remoção foi de 12%, evidenciando problema de contaminação. Os resultados encontrados para Manganês nas três Fases também não foram satisfatórios. A verificação da remoção de contaminantes se deu principalmente para os coliformes totais e termotolerante, onde houve remoção de quase 100%. Para análises- físico-químicas houve remoção para condutividade, turbidez, cor ferro. Onde esses valores estão dentro de padrões estabilizados pela norma CONAMA 357/2005. Como se pode perceber, a destilação solar apresenta-se como uma alternativa viável para tratamento do lixiviado.

4.2.2. Recurso solar

4.2.2.1. Fase IV

Nessa parte da pesquisa iniciou-se o monitoramento da radiação solar e dos dados pluviométricos. Estes dados são fundamentais para se estimar o rendimento da evaporação do lixiviado, ou seja, o quanto de água destilada foi produzido a cada dia.

A evaporação é muito rápida. Após cinco minutos de operação já pode ser visualizado o vapor gerado pela radiação solar. Entretanto a condensação só começa a ser percebida aproximadamente uma hora depois de iniciado o experimento. Observe as gotas de água condensada na cobertura do evaporador na Figura 4.28.



Figura 4.28: Gotas de água condensadas na cobertura do destilador

A Figura 4.29 apresenta os dados de radiação solar total e de água produzida (volume evaporado) em função do tempo. Pode-se assim observar a influência da radiação solar na evaporação do lixiviado e, por conseguinte, na produção da água destilada (observar elipses na Figura). Pode-se constatar que a cada queda da radiação solar, ocorre também uma redução no volume da água destilada. Também pode se perceber que no decorrer dos dias existem picos que chegam acima de 20mL. Contudo estes valores correspondem ao volume evaporado durante todo o fim de semana (que não se tem acesso ao sistema – destaque quadrado na Figura 4.29). Desta forma este pico deve ser dividido por três pra se ter uma idéia mais realista.

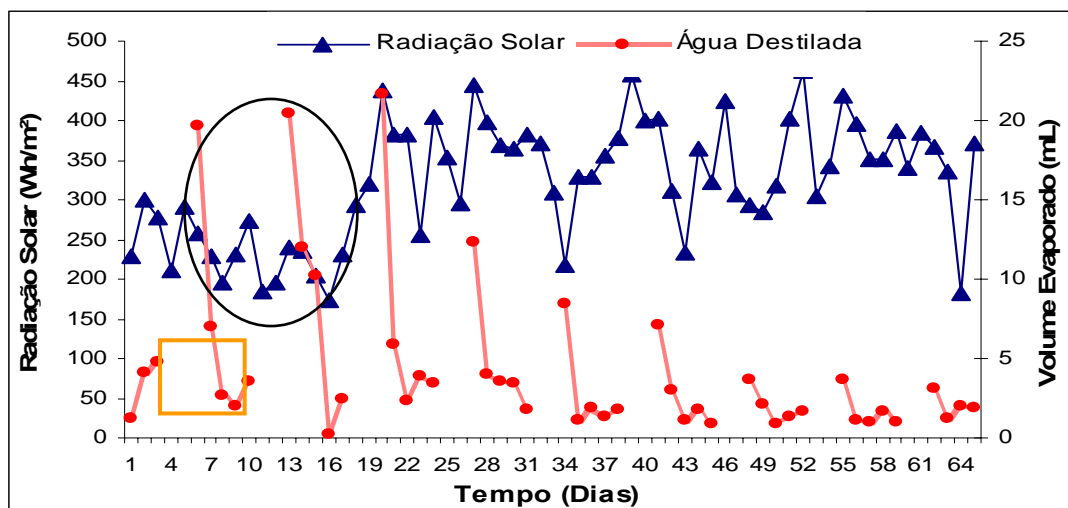


Figura 4.29: Comportamento da radiação solar e do volume evaporado

Marcelo (1996) *apud* Bezerra (2004) comenta que as perdas de energia dependem das condições meteorológicas, com irradiação, temperatura do ar, velocidade dos ventos e do projeto evaporador. Incluindo nesse item tipo de material, forma e orientação do

evaporador e profundidade da camada a evaporar, que afeta a variação diária da temperatura do líquido, o que tem influencia decisiva nas perdas.

Na Figura 4.30 é mostrado o comportamento da radiação solar e da precipitação. Percebe-se que nos dias que houve uma grande precipitação, ocorreu, na maioria das vezes uma queda na radiação solar.

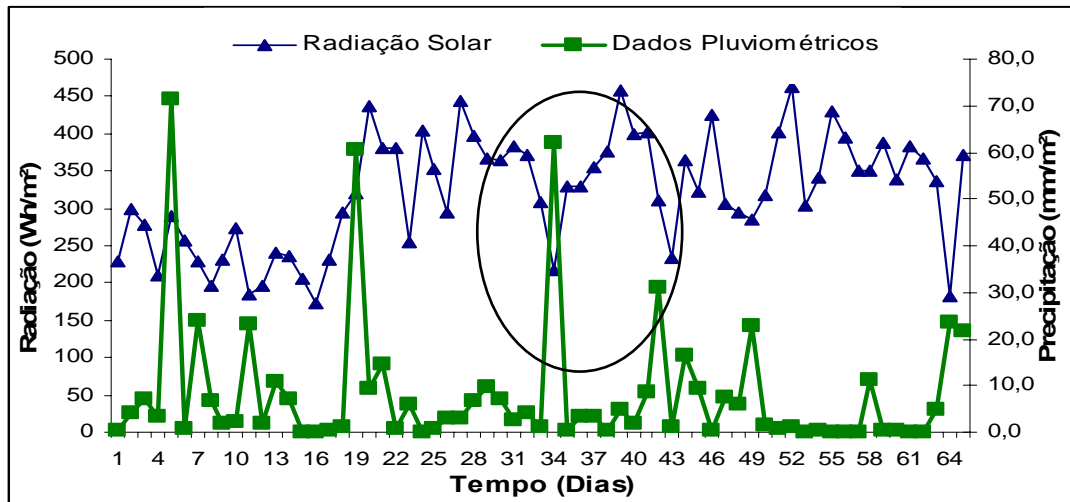


Figura 4.30: Comportamento da radiação solar e Precipitação

A Figura 4.31, mostra o comportamento da precipitação e o volume do evaporado. Nesse gráfico mostra que nos dias em que houve precipitação a quantidade do volume da água destilada também aumentou. Este fato ocorreu devido a infiltrações na nova cobertura (problemas de vedação entre o vidro e a armação do telhado).

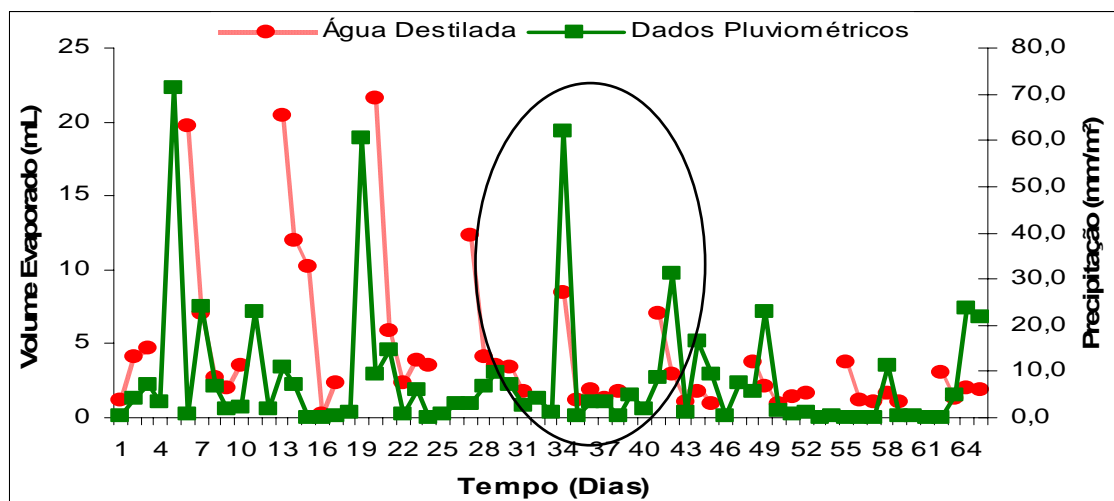


Figura 4.31: Comportamento da Precipitação e do volume evaporado de lixiviado

4.2.2.1. Fase V

Nesta Fase (fim do mês de setembro e início de outubro) como a anterior, também foi monitorado o comportamento da radiação solar total e os dados pluviométricos,

incluindo os dados de radiação direta e difusa. Na Figura. 4.32, é mostrado o comportamento da radiação solar total, direta e difusa. Pode-se constatar que certos dias (como no segundo) em que o céu está sem nuvens, a radiação direta corresponde praticamente à 80% da radiação total. Em dias de chuva, como no primeiro (observar precipitação na Figura 4.33) a radiação difusa correspondeu a 85% da total.

Ainda na Figura 4.32, observa-se que durante todo o experimento houve uma quase equivalência entre as contribuições diretas e difusas, com pequena tendência para a direta.

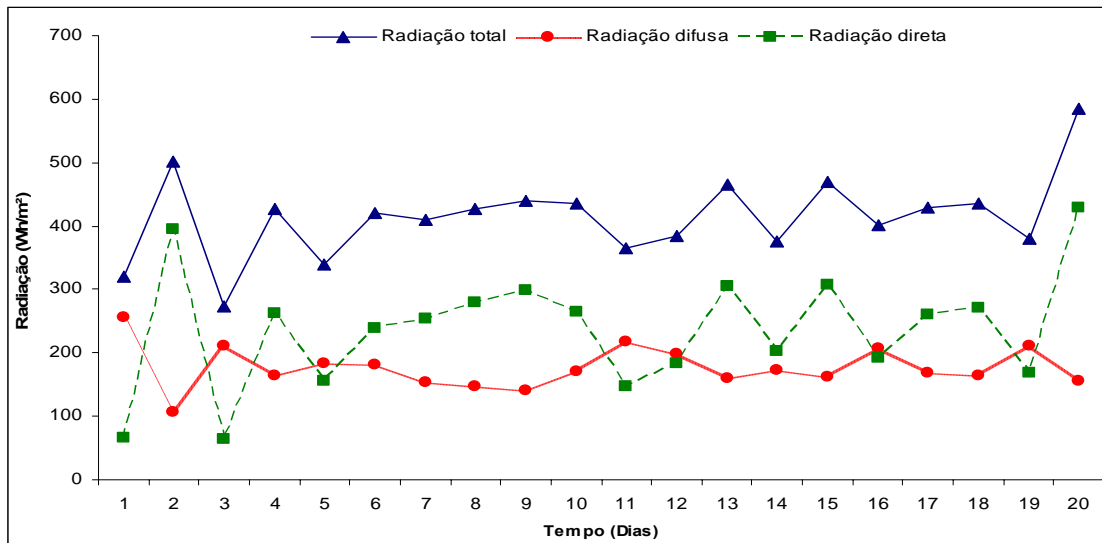


Figura 4.32: Comportamento da radiação solar total, direta e difusa

Na Figura 4.33, ao se analisar o comportamento da radiação solar em relação à precipitação, percebe-se, como era de se esperar, que nos dias de grande precipitação como o primeiro dia do experimento, ocorreu queda na radiação solar total.

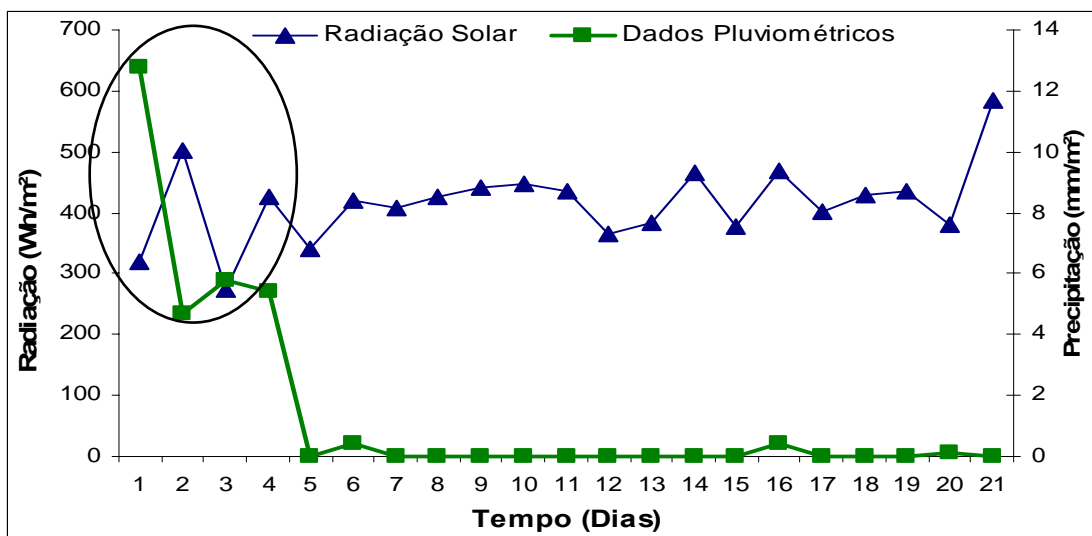


Figura 4.33: Comportamento da radiação solar e Precipitação

Segundo INPE (2003), para os dias com altas nebulosidades, a radiação solar diminui. Isto é justificável pelo fato de que as nuvens são responsáveis por 25 a 30 % (em média) da reflexão da radiação solar que chega ao planeta. As nuvens variam continuamente de forma e tamanho e são grandes moduladoras da energia solar que chega a superfície.

Nesta Fase é possível se observar claramente, apesar dos dias que não houve coleta de dados (por exemplo, fins de semana) que toda vez que a radiação aumentava, ocorria um aumento na produção da água destilada (Figura 4.34).

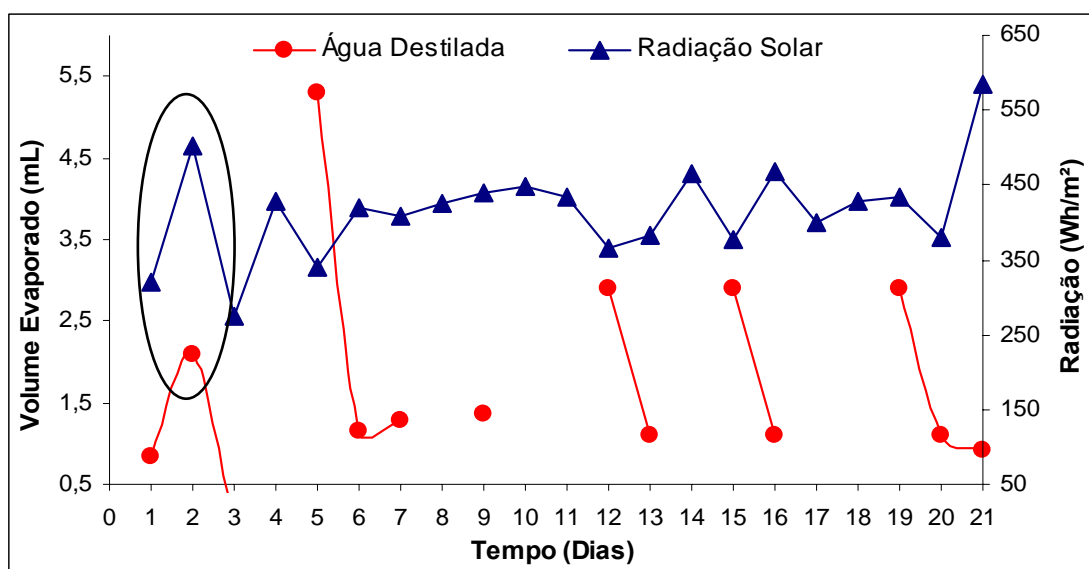


Figura 4.34: Comportamento da radiação solar e do volume evaporado

Apesar de ser constatado o problema de vedação do novo telhado desde a Fase IV, o mesmo continuou a ser utilizado, porque não era mais possível substituir. Se não fossem esses problemas de vazamento de vapor, o volume produzido seria maior. Cometta (1977) afirma que “Na verdade, um bom destilador solar pode fornecer aproximadamente cerca de 4 litros de água destilada por dia por metro quadrado de superfície, com um rendimento de cerca de 50% para água salobra”.

A Figura 4.35, apresenta o comportamento da precipitação e do volume do evaporado em função do tempo. Pode-se observar que nesse período de estudo ocorreram poucas precipitações. Porém no dia que houve uma grande precipitação, no início desta fase, ocorreu também o aumento da produção da água destilada. Nos outros dias que não ocorreram chuvas o funcionamento do evaporador foi normal.

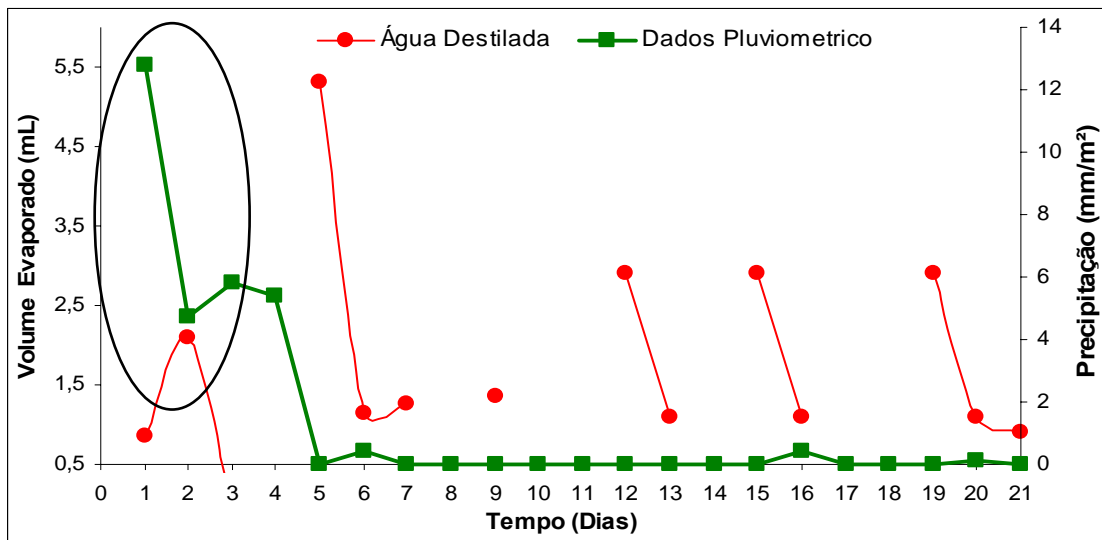


Figura 4.35: Comportamento da Precipitação e do volume evaporado de lixiviado

4.2.2.1. Fase VI

Já na Fase VI, além de continuar o monitoramento da radiação solar, foi acompanhada também a temperatura média ambiente e temperatura média do ar no interior do evaporador. A Figura 4.36 mostra o perfil geral das temperaturas média ambiente e interna para esta fase. Como o evaporador é um sistema fechado, a temperatura interna é maior que a temperatura ambiente.

A temperatura é um dos parâmetros de grande importância. No processo de evaporação solar, quanto maior for a temperatura, maior será a taxa de evaporação da água, conduzindo a maiores rendimentos.

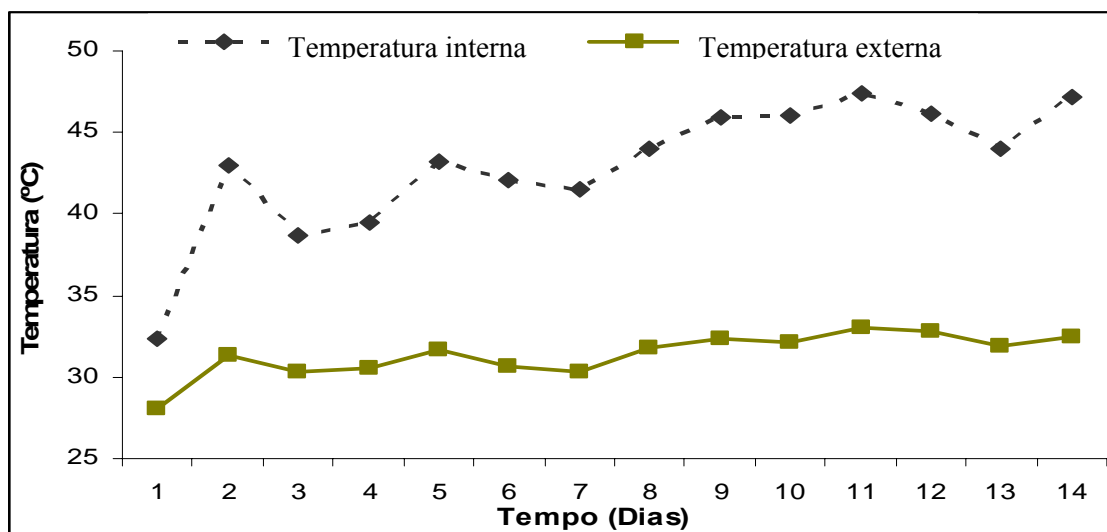


Figura 4.36: Variação da temperatura interna e ambiente durante o mês de novembro

Foram escolhidos três dias durante esta fase, 3º, 11º e 14º dia, para se estudar o comportamento das temperaturas durante todo o dia. Esses experimentos mostram o estabelecimento das temperaturas máximas de operação. As Figuras 4.37, 4.38 e 4.39 mostram o comportamento das temperaturas ambiente e interna do destilador para as datas supracitadas.

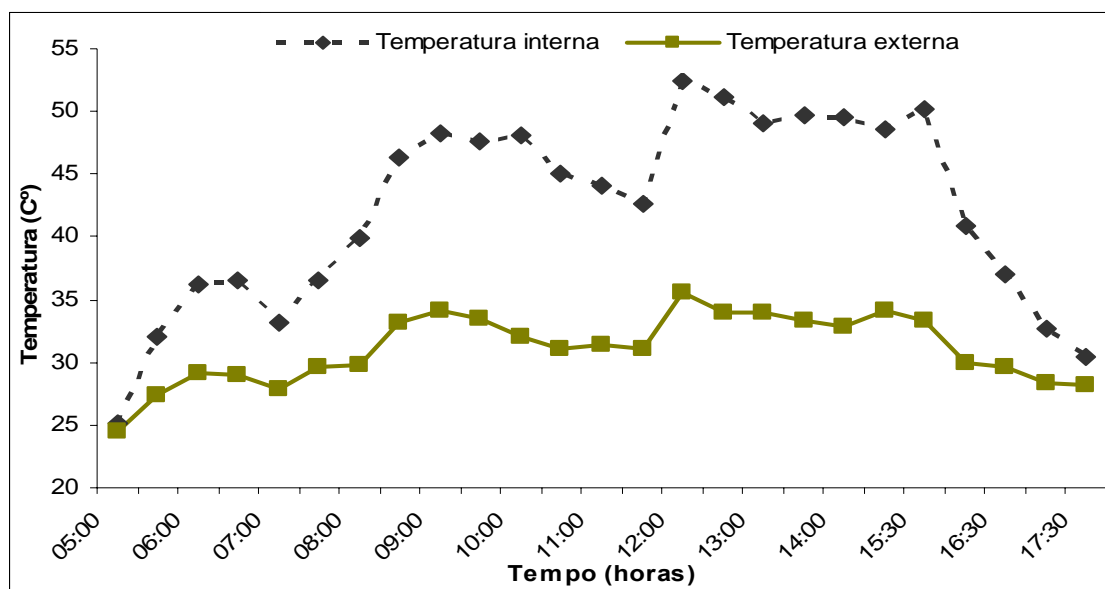


Figura 4.37: Variação de temperatura do 3º dia para uma operação de 13 horas.

Pode-se constatar nas Figuras 4.37 a 4.39 que a temperatura ambiente sofreu oscilações entre 25 e 36° C durante o dia, com temperaturas máximas em diferentes horas do dia, em função das condições climáticas.

A variação para temperatura interna do destilador acompanhou a mesma tendência de queda e de alta da temperatura ambiente, indicando assim não haver amortecimento da resposta do evaporador, ou seja, a troca térmica está sendo eficiente, valorizando assim este tipo de tratamento.

Na Figura 4.37, observa-se que a temperatura subiu a partir das 7h, em seguida desceu por volta das 10h e tornou a subir às 12h. Esta variação de temperatura interna pode estar associada às nuvens que encobriam parcialmente o sol. As 12h, após voltar a subir, ela atingiu um máximo por volta das 12h30. Outro fato a se considerar é a velocidade do vento, que pode esfriar o evaporador, baixando a temperatura do mesmo.

Mais que indicar a independência do sistema em relação à temperatura ambiente, as Figuras 4.37 a 4.39 evidenciam que o calor interno não é só função da radiação solar, como também das condições climáticas (nebulosidade, velocidade do vento, etc.)

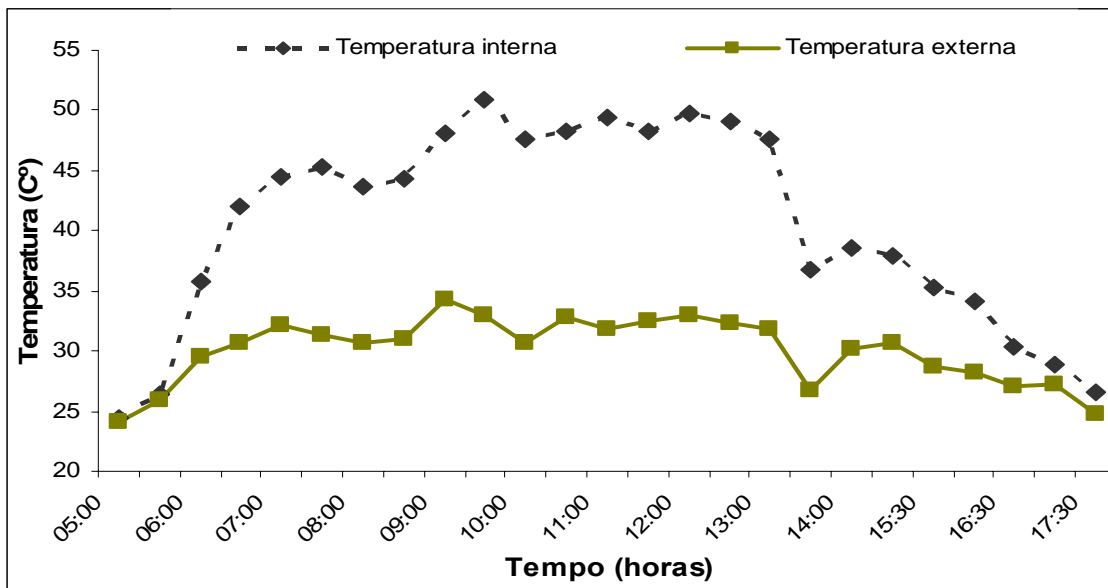


Figura 4.38: Variação de temperatura do 11º dia para uma operação de 13 horas.

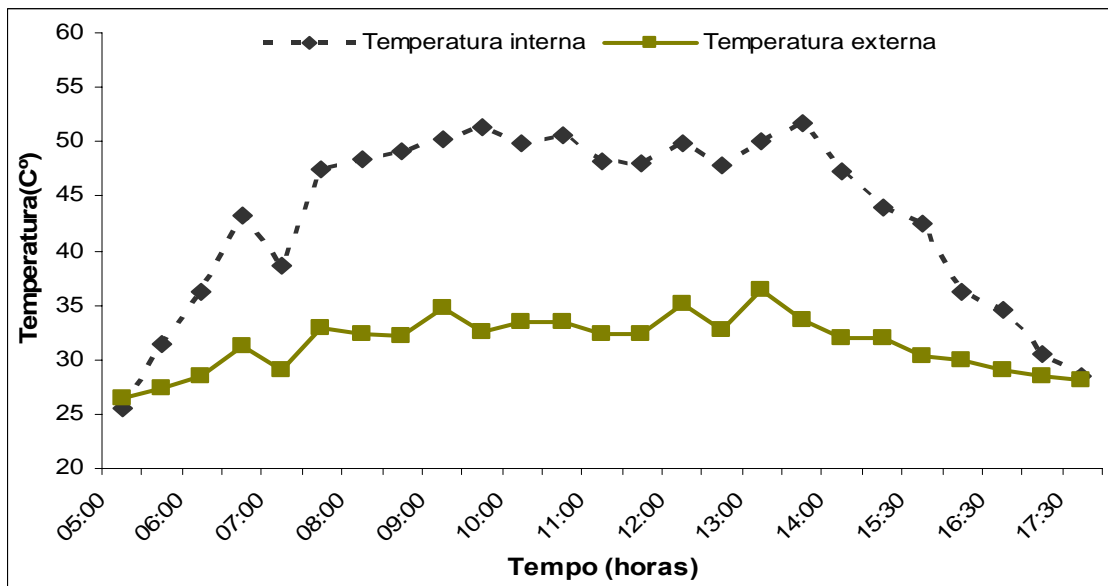


Figura 4.39: Variação de temperatura do 14º dia para uma operação de 13 horas.

A Figura 4.40 ilustra mais uma vez que a produção de água depende da temperatura ambiente e principalmente da radiação solar, apesar da temperatura ambiente ter apresentado pequena variação comparado a temperatura externa. Porém os dias em que o volume de água destilada está alto são os dias subsequentes aos que não foram coletadas amostras, ou seja, nos finais de semanas, então houve uma acumulação do volume da água, como mostra as setas na Figura 4.40.

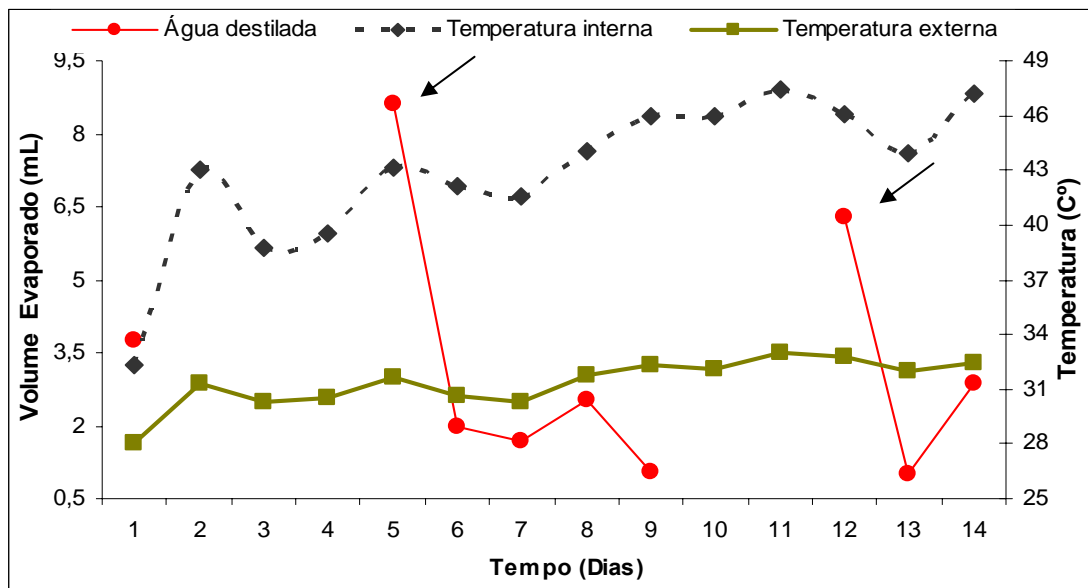


Figura 4.40: Variação da temperatura interna e ambiente e do volume evaporado

De acordo com Torres (1984), para as condições de Recife, no início da manhã já são produzidos alguns litros de água e a produção máxima é obtida nas horas de maior intensidade de radiação solar (12-15 horas), diminuindo ao aproximar-se o período noturno. O mesmo autor verificou, ainda, que 30% da produção diária é obtida durante a noite, quando a temperatura externa diminui e favorece a condensação do vapor na lamina de vidro. Por outro lado, mesmo em dias com céu completamente nublado o destilador funciona, produzindo uma média de 3,5 L/m²/dia. Adotou-se para Recife uma média de 4,5L/m² dia para um dia de operação normal.

Boučekina (2002) estudou um destilador na Argélia, onde temperatura ambiente no verão era por volta dos 40° C, atingindo temperaturas ente 65 a 75° C. O mesmo autor mostra que a produtividade é influenciada pela radiação solar e temperatura da água e que um aumento significativo da produção de água destilada foi obtido não somente durante o dia, mas também durante a noite, onde ocorre o resfriamento da água que se encontra na base do destilador.

A Figura 4.41 mostra o comportamento da radiação solar e das temperaturas interna e externa em função do tempo. Percebe-se, que tem dias que a temperatura acompanha a radiação, ou seja, quando uma aumenta as outras também aumentam, porém nem sempre ocorre às mesmas tendências de queda e alta, tem dias que as temperaturas estão altas e a radiação está baixa, isso por de ser explicado pelo dia esta nublado, porém quente, ou pela variação da velocidade do vento.

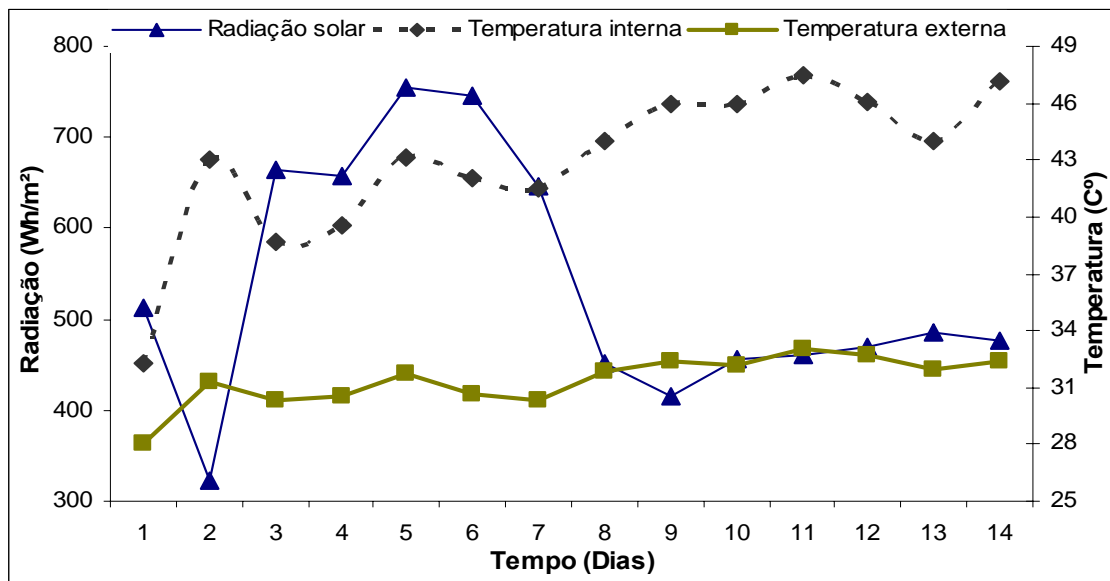


Figura 4.41: Variação da temperatura interna e ambiente e Radiação Solar

4.2.3. Balanço Hídrico

Para realização do ensaio de balanço hídrico, para se saber o volume de saída do equipamento, faz-se a coleta diária da água destilada esvaziando-se completamente as calhas para verificar o volume de água destilada produzida durante o dia. Nas fases IV a VI foram colocados 45L de lixiviado dentro do evaporador. Na Fase IV a soma total de água destilada foi de 207,93L. Verifica-se com espanto esses valores, pois implicaria na geração de água dentro do evaporador. Todavia, a explicação para esse volume foi à nova cobertura, feita em aço inox já que a anterior enferrujou (Fase III), estava com problemas de vedação. Como estes experimentos foram realizados exatamente nas piores épocas do ano (época de chuva), toda vez que chovia a calha enchia, aumentando assim o volume da água destilada.

Na Fase V observou-se diminuição na produção de água, esse fato ocorreu devido que ocorreram perdas de vapor, quando foi acoplado o novo telhado do Evaporador Solar. Sendo assim houve um déficit na produção da água destilada que foi de 21,82 L. Esse déficit se deu porque as chuvas foram poucas e a radiação solar se encontrava bem maior que na Fase VI. Na Fase VI o volume da água destilada foi de 34,33 L (Tabela 13), um pouco maior que da fase anterior. Um dos fundamentos para o bom funcionamento do destilador é a sua estanqueidade, pois a perda de vapor baixa a sua eficiência. Desta forma, o longo tempo para o sistema (evaporador) secar deveu-se principalmente a entrada de água da chuva e saída de vapor. Desta forma não foi possível obter uma eficiência elevada.

Tabela 13: Volume da entrada e saída do evaporador solar.

Fases	Volume de entrada (L) (Lixiviado)	Volume de saída(L) Destilado	Diferença
IV	45	207,93	-162,93
V	45	21,82	23,18
VI	45	34,33	10,66

4.3. Comportamento do Sistema Aberto de Tratamento de Lixiviado por Evaporação

Houve a necessidade de estudar o evaporador aberto de modo a conferir a taxa de evaporação do lixiviado, ou seja, em quanto tempo o lixiviado evapora-se com o sistema aberto e comparar com o sistema fechado, e também acompanhar quais são os gases liberados pelo o lixiviado durante sua evaporação.

4.3.1 Balanço Hídrico

1º Experimento Aberto

O primeiro experimento iniciou-se 16 de outubro de 2007 tendo duração apenas de quatro dias, sendo utilizado 45L de lixiviador. Na Figura 4.42 mostra o comportamento do balanço hídrico (resulta na quantidade de água que entra e na quantidade de água que sai) e da precipitação em função do tempo. Para realização do balanço hídrico, mediu-se diariamente a variação do volume do líquido no evaporador, através da média de cinco medidas de altura do volume do lixiviado (uma em cada extremidade e uma no centro). Pode-se constatar que a precipitação ocorreu só no terceiro dia à noite e com pouca intensidade. Desta forma não foi possível verificar o aumento do volume, uma vez que logo pela manhã já se iniciava a evaporação do lixiviado e a aferição do volume só foi realizada às 12h.

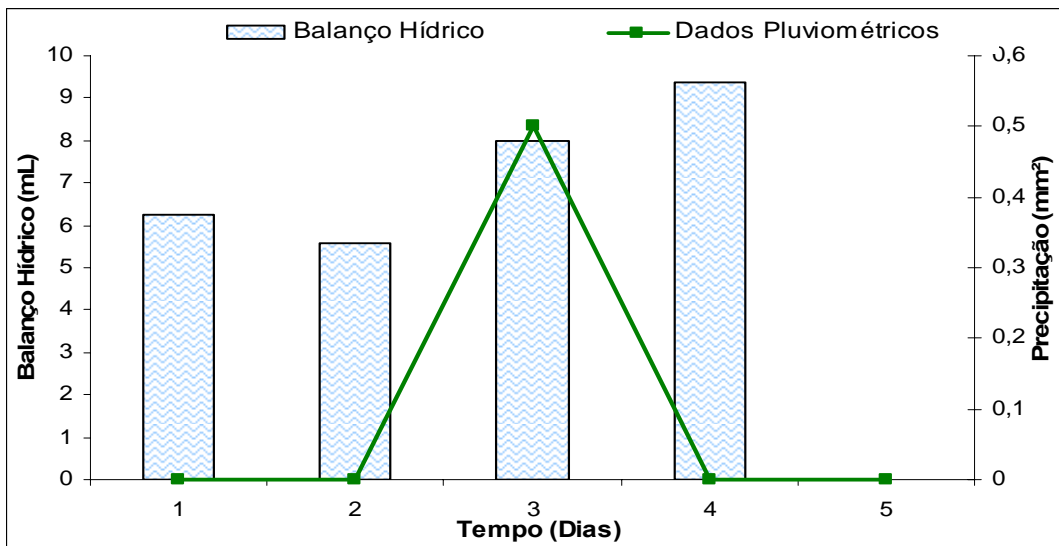


Figura 4.42: Comportamento da Precipitação e Balanço Hídrico para um volume de 45L

No quarto dia a taxa de evaporação foi maior, mesmo com radiação solar menor que no 1º e 3º dias (Figura 4.43). O motivo foi que o volume do lixiviado já se encontrava pouco, então com isso a chapa de aço aqueceu mais rápida, evaporando todo o lixiviado restante.

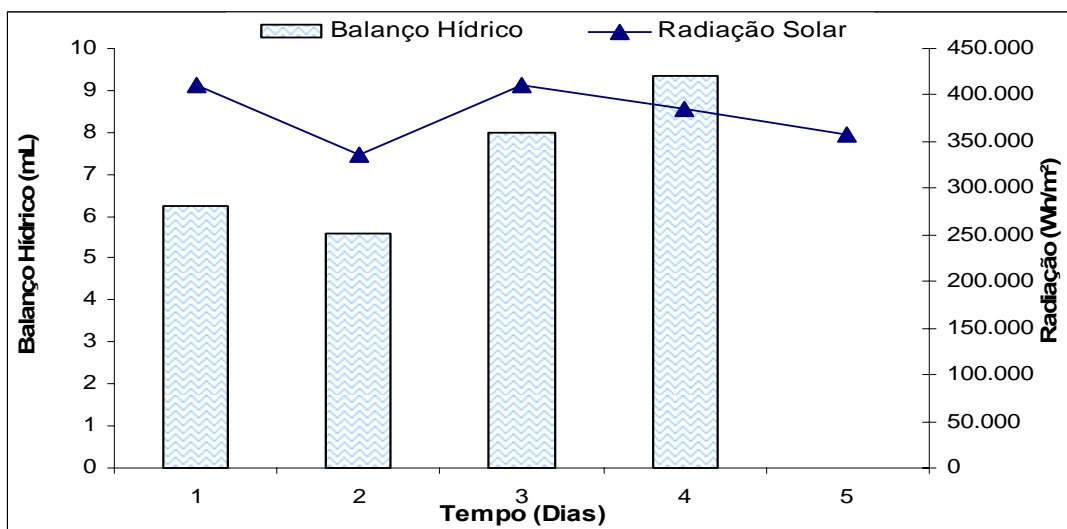


Figura 4.43: Comportamento do Balanço Hídrico e da radiação para um volume de 45L

2º Experimento Aberto

Para o segundo experimento foi usado 400L de lixiviado, dando início 21 de janeiro de 2008 e finalizando-se 13 de fevereiro de 2008, tendo duração de 24 dias. Este volume maior teve como finalidade obter mais dados de taxa de evaporação diária com o sistema aberto.

Observa-se, na Figura 4.44, que ocorreram três dias de intensa precipitação. Dentro deste período houve dias (9 e 11) nos quais o valor da curva do balanço hídrico deu negativa. Isso ocorreu porque o volume de chuva foi maior que a taxa de evaporação. Porém no 14º dia pode-se observar que houve precipitação e que o balanço deu positivo. Isto permite interpretar que foi uma chuva rápida e localizada em parte do dia e que no restante houve uma incidência solar muito forte, aumentando bastante a evaporação, como pode ser observado na Figura 4.45.

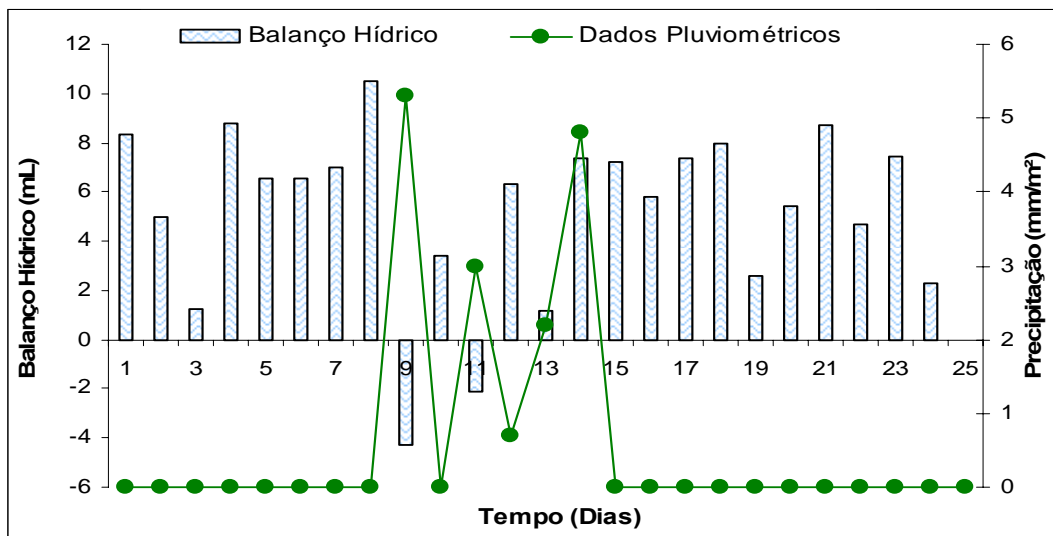


Figura 4.44: Comportamento da Precipitação e Balaço Hídrico para um volume de 400L

Analisando-se ainda este dia (14º), pode-se constatar, analisando-se a Figura 4.45, que a radiação solar desse dia foi forte mesmo com as chuvas, reforçando assim a conclusão anterior sobre este dia.

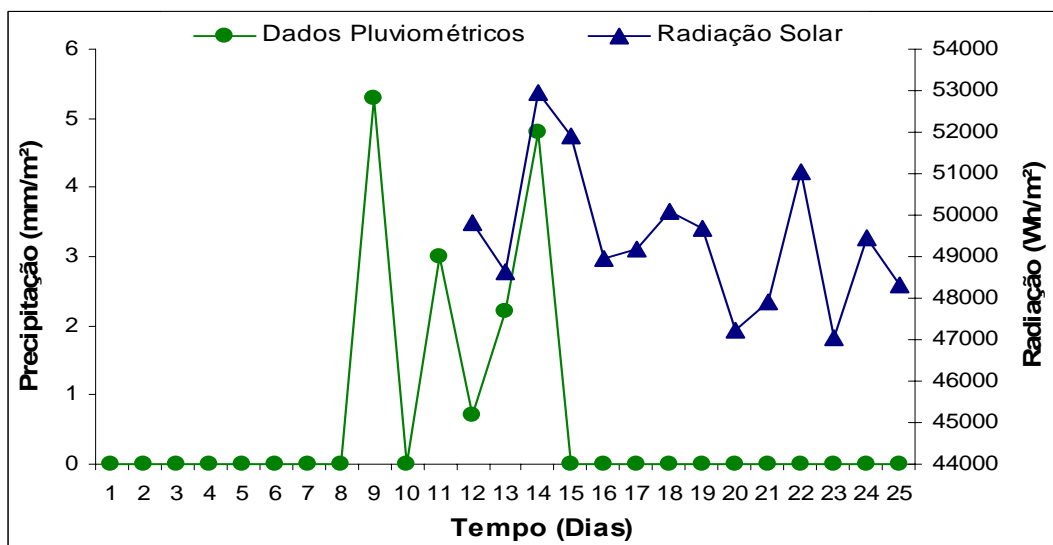


Figura 4.45: Comportamento da Precipitação e da Radiação Solar para um volume de 400L

É importante ressaltar que nos primeiros dias deste experimento não houve medição da radiação solar, devido a problemas técnicos com o actinômetro.

4.3.2. Monitoramento dos gases

A composição dos gases produzidos num aterro sanitário depende da composição dos resíduos ali armazenados e das suas fases de degradação. De acordo com Bidone e Povinelli (1999), na decomposição anaeróbia é onde ocorre a geração de alguns subprodutos como amônia, ácidos orgânicos e gases (lixiviado e biogás). Geralmente, os gases que compõem o gás de aterros sanitários compreendem metano, dióxido de carbono, gás sulfídrico, oxigênio, hidrogênio, mercaptanas, propano, butano e outros compostos (CASTILHOS *et al.*, 2003).

O monitoramento dos gases liberados pelo lixiviado só foi realizado no segundo experimento, tendo sido estudados os gases CO₂, CH₄, H₂S e O₂. Os resultados da determinação de suas concentrações estão apresentados na Figura 4.46.

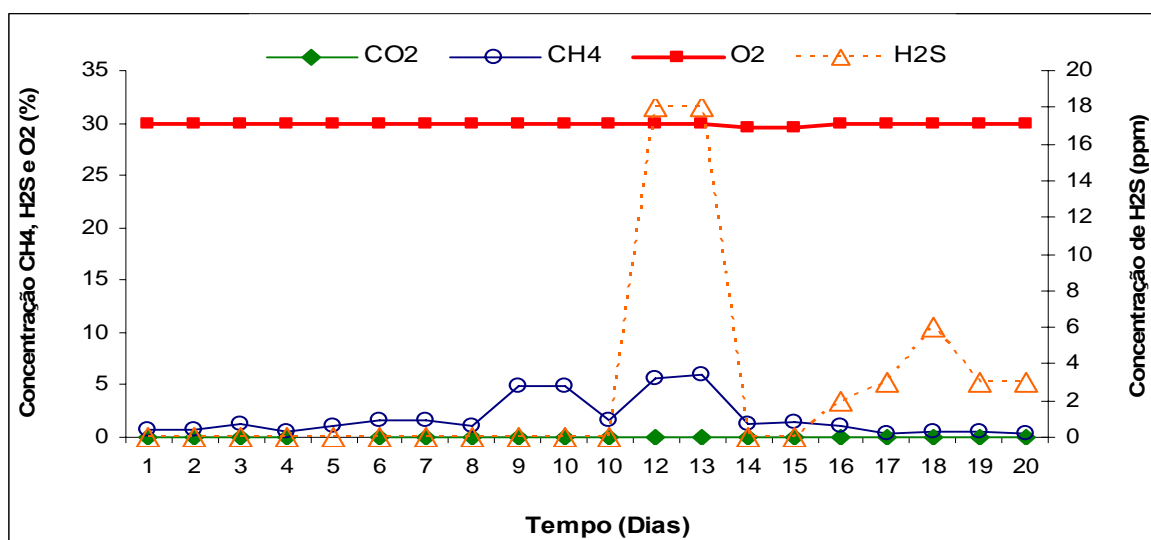


Figura 4.46: Variação da concentração dos gases com o tempo.

Observe os gases monitorados principalmente o CO₂, CH₄, H₂S, apresentaram baixa concentração, isso pode ter ocorrido devido o sistema ser aberto, funcionando como um sistema aeróbio. Esse sistema pode explicar os altos valores da concentração do O₂.

4.4. Corrosão do Evaporador Solar

Foi observada a corrosão do tanque do evaporador, feito de placa de aço galvanizado. A cada uso ficou bem visível este problema, como mostra a Figura 4.47. A corrosão é normalmente definida como a deterioração de um metal ou das suas

propriedades provocadas por uma reação com o seu ambiente. (<http://www.grundfos.com/web/homept.nsf/Webopslag/CAMO-59ZE2M>).

Todavia, quando for realizada a sua construção em aterro, o mesmo deverá ser feito de alvenaria ou concreto, tendo em vista as dimensões necessárias.

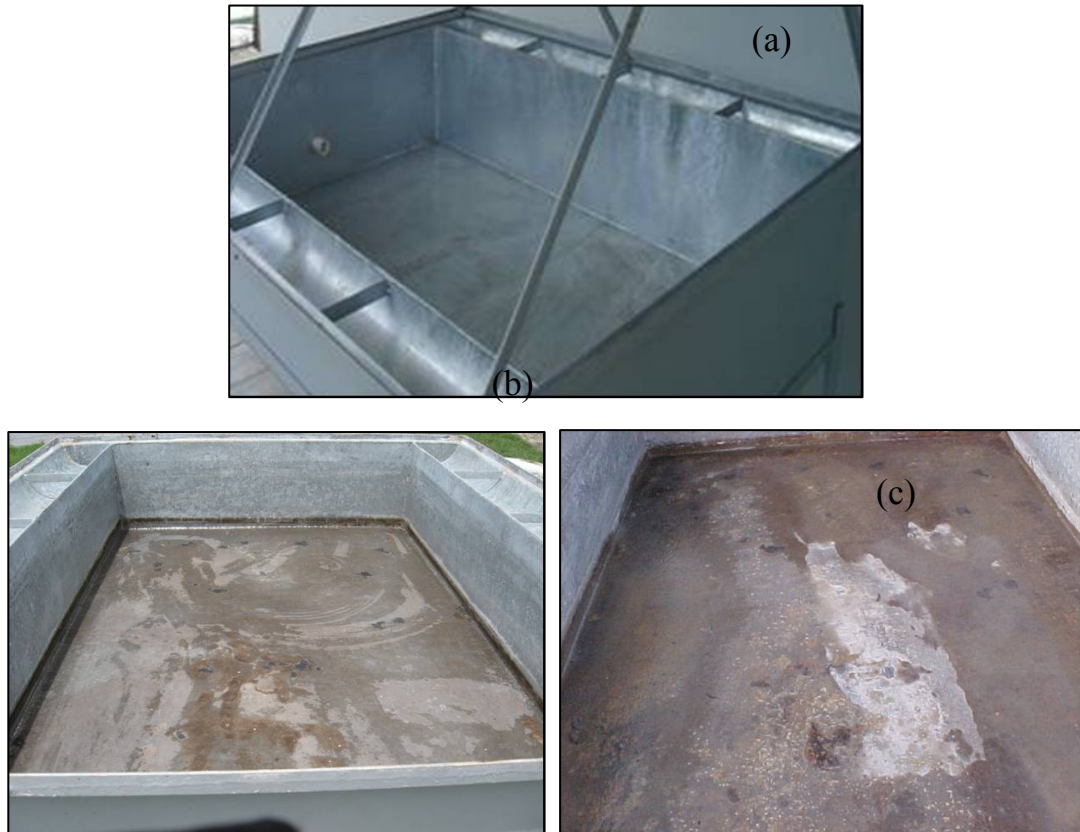


Figura 4.47: Efeito da corrosão no evaporador: a) Sem uso, b) 6º mês de uso e c) após um ano de uso

CAPITULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

- ❖ Mostra-se possível a contribuição relativamente simples do destilador solar, utilizando a energia solar como fonte primária para remoção de poluentes contidos no lixiviado de aterros sanitários.
- ❖ Em todas as Fases o pH da água destilada, teve variação entre 8,5 a 9,7, indicando assim um pH levemente alcalino.
- ❖ Os valores da DBO nas três últimas Fases obtiveram elevados resultados para requisitos CONAMA 357/2005. Porém esses valores são bastante satisfatórios para lixiviado de RSU.
- ❖ Os metais não tiveram uma boa remoção em quase todas as Fases, confirmou-se que o equipamento encontrava-se com problemas de contaminação. Essa contaminação, certamente ocorreu do material utilizado na vedação.
- ❖ Os resultados da pesquisa mostraram que o evaporador solar pode ser usado como meio de tratamento de água contaminadas por microrganismos. Os resultados obtidos de remoção já dão uma idéia da eficiência da destilação solar na eliminação dos microrganismos.
- ❖ Em todas as Fases os índices de remoção para cor, turbidez, sólidos totais e condutividade foram quase de 100%. Onde esses valores estão dentro de padrões estabilizados pela Norma CONAMA 357/2005.
- ❖ O monitoramento da Radiação Solar, Precipitação e Temperatura só foram realizados a partir da Fase IV. Foi percebido que nos dias que houve precipitação a quantidade do volume da água destilada também aumentou, este fato ocorreu devido a infiltrações na nova cobertura.
- ❖ O tanque do evaporador solar feito de aço galvanizado, já nos primeiros meses de estudo sofreu corrosão.

- ❖ O Evaporador Solar têm uma grande possibilidade de solucionar problemas em pequena escala de tratamento do lixiviado de aterros sanitários, contanto que as condições necessárias para a escolha dessa tecnologia se façam presentes, quais seja escolha de um local dotado de altos índices de insolação, baixo índice pluviométrico e impossibilidade física ou econômica de se utilizar outras fontes energéticas.
- ❖ Apesar de um alto investimento inicial, essa tecnologia é de baixa complexidade, pouca manutenção e grande confiabilidade ações.

5.2. Recomendações

Como sugestões para trabalhos futuros propõem-se:

- ❖ Estudo dos efeitos da irrigação de culturas não comestíveis com a água destilada obtida;
- ❖ Estudar outros tipos de inclinação;
- ❖ Como água destilada encontra-se com altos valores de nitrogênio amoniacal, devido aos gases que evaporaram e condensaram juntamente com a água. Pode ser feita uma filtração com carbono ativado;
- ❖ Estudar diariamente a qualidade e produção da água durante o ano todo, para verificar se há diferença entre o verão e inverno;
- ❖ Estudar esta técnica associada ao tratamento com Wettands e Barreiras Bio-químicas.
- ❖ Fazer mais vezes experimentos com a evaporação do sistema aberto e junto estudar os gases que são produzidos;
- ❖ Realizar análises de DBO todas as semanas iguais às análises de DQO, para poder comparar a redução;
- ❖ Estudar outros materiais para usar como tanque do evaporador, ou seja, outros tipos de que não sejam muito atacados pela corrosão;

- ❖ Estudar os resíduos do evaporador, para saber a concentração de contaminantes se é possível ser usado como adubo.

CAPITULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 10004*: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- BARROS, H. L., **Estudo de Balanço Hídrico em Aterro Sanitário por Meio de Lisímetros de Grandes Dimensões** - Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- BERRUETA, J.; GUTÉRREZ, A.; FUEYO, G. **Anaerobic treatment of leachates in pilot-scale UASB: strategy of start-up.** Journal of Chemical Technology and Biotechnology. v. 67, n. 3, p. 302-314, 1996.
- BEZERRA, A. M. **Aplicações Térmicas da Energia Solar**, 2ed. João Pessoa, Editora Universitária/UFPB, (1986).
- BEZERRA, M. A. S., **Desenvolvimento de um destilador solar para tratamento de águas de produção de petróleo com vistas a sua utilização na agricultura e geração de vapor** - RN. Rio Grande do Norte, Dissertação - UFRN Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2004.
- BEZERRA M. A.S., MELO, J.L.S., MELO, H.N.S., JUCÁ, T.D.A. **Estudo das taxas de evaporação em destilador solar duas águas com inclinação de 20° e 45°.** XXI Congresso Interamericano Ingeniería Química. Lima. Peru, 2005.
- BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos.** São Carlos: EESC/USP, 120p, 1999.
- BRANCO, S. M & ROCHA, A. A. **Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas.** Editora Edgard Blücher - Cetesb. 1997
- BOUCHEKIMA, B. A., **Solar desalination plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria. Desalination**, v. 153,p 65-69, Ouargla, Argeria, 2002.
- CAMPOS, J.C., FERREIRA, J.A., RITTER, E., MANNARINO, C.F. **Filtro Biológico Aeróbio – Resultados no Tratamento do Lixiviado do Aterro Sanitário de PIRAÍ** – RJ.In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville-Santa Catarina, 2003,.
- CAPELO NETO, J., **Estudo Quanti-Qualitativo do Percolado Gerado no Aterro Sanitário Oeste, em Caucaia, Ceará.** Fortaleza, 108 fls. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Ceará, 1999.
- CARVALHO, M.F., **Comportamento Geotécnico de Resíduos Sólidos Urbanos.** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Paulo, Universidade São Carlos. P 300,1998.
- CASTILHO JR., A. B. de., **Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil.** *BIO* - Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente, p.57- 60, 1988.

- CETESB, **Caracterização e Estudo de Tratabilidade de Líquidos Percolados de Aterros Sanitários**. São Paulo, 1995.
- CHENICHARO, C. A. L. , **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e aproveitamento do biogás**. Sérgio Túlio Cassini (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, Rima, 210p, 2003.
- CHENICHARO, C. A. L., **Reatores Anaeróbios**, DESA, Belo Horizonte, pp 245,1997.
- CHRISTENSEN, T. H., KJELDTSEN, P., **Sanitary Landfilling: Process, Technology, and Environmental Impact**. New York: Academic Press, Cap.: Basic biochemical processes in landfills, p. 29-49, 1989.
- CYBIS, L. F., **Uso de Reator Seqüencial em Batelada para Pós-tratamento de Efluentes de Tratamento Anaeróbio**. 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre 2000.
- CONAMA 357/05. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Nº 357 de 17 de março de 2005.
- COMETTA, E. **Energia Solar**. Editora Hemus, São Paulo, SP, 1977.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W.A., **Solar Engineering of Thermal Processes** (ingles) 2 ed. USA: Wiley-Interscience, 919p, 1991.
- EL-FADEL, M., BOU ZEID, E., CHAHINE, W & ALYLI, B. **Temporal Variation Leachate Quality From Pre- Sorted and Baled Municipal Solid Waste with High Organic and Moisture Content**. Waste Management & Pergamon, p. 263-282, 2001.
- ETTALA, M. **Full-Scale Leachate Treatment Using New Evaporation Technology**., Pract. Periodical of Haz., Toxic, and Radioactive Waste Mgmt., Volume 2, Issue 2, pp. 86-87, 1998.
- FAIRES, V. M.; SIMMANG, C. M. **Termodinâmica**- 6º ed.- Guanabara Dois - RJ, 1983.
- FARQUHAR, G. J. **Leachate: Production and Characterization**. Disponível em: <<http://www.cepis.org.pe/muwww/fulltext/repind49/lesson10/leachate.html>> Acesso em 20 de Agosto de 2005.
- FELIX, E., P., CARDOSO, A., A., **AMÔNIA (NH₃) ATMOSFÉRICA: FONTES, TRANSFORMAÇÃO, SORVEDOUROS E MÉTODOS DE ANÁLISE**. *Quim. Nova*, Vol. 27, No. 1, 123-130, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n1/18820.pdf>> acesso em 10 de Janeiro de 2008.
- FLECK, E., **Sistema Integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. UFRGS. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Setembro-2003.

- FERREIRA, J. A.; GIORDANO, G.; RITTER, E.; ROSSO, T. C. de A.; CAMPOS, J. C.; LIMA, P. Z. M., **Uma revisão das técnicas de tratamento de lixo e a realidade do Estado do Rio de Janeiro**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa – PB, 2001.
- GODINHO, L. de J. F., **Avaliação das características das águas residuárias do aterro sanitário da Ribeira, São Luis-MA e da eficiência do seu tratamento através de lagoas de estabilização durante o período chuvoso**. (Monografia) Curso de Química Industrial. Universidade Federal do Maranhão, 1998.
- GUIMARÃES, L T. **Para Disposição de Resíduos na Bacia do Paquequer, Município de Teresópolis** – RJ. Rio de Janeiro, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.
- HAMADA J., **Estimativas de Caracterização do Lixiviado em Aterros Sanitários** - XIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu - PR, Anais - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. CD rom, 1997.
- HAMADA, J.; MATSUNAGA, I., **Concepção do sistema de tratamento de lixo para o aterro sanitário de Ilhéus - BA** In: IX SILUBESA - Simpósio Lusobrasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro-Ba. 9 a 14 de abril 2000.
- HAMADA, J., CASTILHO FILHO, G.S., FARIA, S., CINTRA, F.H., **Aplicabilidade de Processos físico e Físico-Químicos no Tratamento do Lixiviado de Aterros Sanitários**. VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória, 2002.
- IPT/CEMPRE. Lixo Municipal: **Manual de Gerenciamento Integrado**/Coordenação: Maria Luiza Otero D’Almeida, André Vilhena – 2.ed. São Paulo. 2000. ISBN 85-09 - 00113-8.
- INPE. **Radiação Solar e Terrestre**. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/satelite/metsat/pesquisa/radiação.htm>. Acesso em 17 fevereiro de 2008.
- JORDÃO, E.P; PESSÔA, C.A., **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.
- JUCÁ, J. F. T. et al., **Monitoramento ambiental de la recuperación del Vertedero de residuos sólidos de Muribeca, Brasil** – 1ª parte, Resíduos – Revista Técnica Medio Ambiental. Ategrus – Asociación Técnica para la Gestión de Resíduos y Medio Ambiente, Año XII, No 64 Enero – Febrero 2002, I.S.SN.: 1,131 – 9.526, pp 100 – 106. Espana, (2002).
- JUCÁ, J. F. T. *et al.*, **Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil: Situação Atual e Perspectivas**. 10º SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Braga, Portugal, 16-19 setembro 2002.

- JUCÁ, J. F. T. **Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. In: 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO 2003, Porto Alegre, RS.2003..
- JUNQUEIRA, F.F., PALMEIRA, E.M., **Monitoramento do Comportamento de Lixo em Células Geotecnicamente Preparadas**. 4^o Congresso Brasileiro de Geotécnica Ambiental, 1999.
- LEDESMA, M. T. O.; GÓMEZ, J. S., RIVERA, R. C. & VALENCIA, M. N. R. **Método de Balance de Água ara la Estimación de la Generación de Líquidos Percolados em Rellenos Sanitarios**. 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.
- LEOPOLDO, P. R; GUIMARÃES, A. B.; PIEDADE, A. R., **Emprego de Plantas Aquáticas em Sistema Integrado de Tratamento de Esgoto de Pequena Comunidade Rural**. 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.
- LINS, E., **A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no aterro da Muribeca (PE)**. Recife. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pernambuco, 2003.
- LO, I. M. C., **Characteristics and Treatment of leachates from domestic landfills**. Environment International. vol. 22, N° 4. pp. 433-442. 1996.
- LOPES, J.T., **Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Hídrico**. Campinas – SP. Dissertação (Mestrado)– Universidade Estadual de Campinas,2004.
- LUZIA M. R. *et al*, **Utilização de Filtros Aeróbios em Escala de Laboratório Para o Tratamento do Lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande-Mato Grosso do Sul, 2005.
- LUIZ, A. M., **Como aproveitar a energia solar**. 1º Edição, Editora Edgar Blucher, São Paulo, 1985.
- LU, J. C.S.; EICHENBERGER; B. STEARNS, R.J., **Leachate From Municipal Landfills**, New Jersey – US, 1985.
- MAGNOLI, D., SCALZARETTO. R. **Geografia, espaço, cultura e cidadania**. São Paulo: Moderna, 1998. v. 1. (Adaptado) http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/energia_solar/3_2.htm
- MALUF, A.P., **Destiladores Solares no Brasil**: Universidade Federal de Lavras, Monografia (Departamento de Engenharia Mecânica), 2005.
- MCCRACKEN, H.; GORDES, J., **Understanding solar stills** (inglês) Arlington/USA: VITA, 33p, 1985.

- MORAIS, J. L.; SIRTOR, C.; KUNZ, A.; ZAMORA, P. P., **Estudo da Potencialidade de Processos Oxidativos Avançados Integrados d Processos Biológicos para Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 14 a 19 de Setembro 2003 - Joinville - Santa Catarina, 2003.
- MORAES, P. B., **Tratamento de Lixiviado Proveniente de Aterro Sanitário através de Eletrólise assistida por Fotocatálise**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 118p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) 2004.
- MONTEIRO, V. E. D., **Análises Físicas, Químicas e Biológicas no estudo do comportamento do aterro da Muribeca**. Tese (Doutorado) – UFPE. Recife – PE, 2003.
- NASCIMENTO, M. C. P.; CHERNICHARO, C. A. L., MOURA, J. C. R.; CASTRO, L., **Comportamento de Um Sistema Uasb/Filtro Biológico Aeróbio Quando Exposto A Choques De Carga Hidráulica** 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.
- OLIVEIRA, R.; SILVA, J. B. P.; ATHAYDE JR, G. B. *et al*, **Velocidade de remoção de coliformes fecais em um reservatório de estabilização alimentado com esgoto doméstico bruto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20. Rio de Janeiro, **Anais**. ABES: Rio de Janeiro, 1999. CD-ROM, 1999.issuer
- ONAY, T.T., POHLAND F.G., “**In situ nitrogen management in controlled bioreactor landfills**”. Water Research, v.32, n.5, pp. 1383-1392, 1998
- PESSIN, N.; BRUSTOLIN, I.; FINKLER, R., **Determinação da eficiência de tratabilidade de reatores biológicos para atenuação de carga orgânica presente no chorume proveniente de aterros sanitários**. In: IX SILUBESA - Simpósio Lusobrasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro-Ba. 9 a 14 de abril 2000. CD Rom, 2000.
- PINA, A. V. V., **Dessanilização Solar no Abastecimento de Água para uma Família no Arquipélago de Cabo Verde**. Porto alegre – RS. Monografia de Graduação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- PNSB – 2000-**PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO** –. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro - 2000.
- PROSAB. **Processo de Desinfecção Alternativos na Produção de Água Potável**. ABES, São Carlos, SP, 2001.
- QASIM, S. R.; CHIANG, W., **Sanitary Landfill Leachate – Generation, Control and Treatment**. Technomic Publishing Co. Inc. p.323. ISBN 1-56676-129-8, 1994.
- RICHTER, C.A; AZEVEDO N., J.M., **Tratamento de Água**. São Paulo: E. Blücher, 1995.

- RIGHETTO, A. M., **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP. 840 p: il. 1998.
- REICHERT, G.A; COTRIM, S. L. S., **Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário Realizado em Filtro Anaeróbio em Leito de Brita Construído sob o Aterro: Conceção De Projeto**. 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.
- REIS, M. F. P., ELLWANGER, R. M., **Metais Pesados em Compostos de Resíduos Sólidos Urbanos**. IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre – RS, Maio de 2004.
- ROCCA, A. C.C. et al. **Resíduos sólidos industriais**. 2.ed. São Paulo: CETESB, 234p, 1993.
- ROCHA, E. M. R.; FILHO, C. O.; LUCZYNSKI, M. (2003), **Proposta de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos do município de Santa Izabel do Pará**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará – Belém/PA. Março 2003.101p.
- ROCHA, R., **Desempenho de um Sistema de Lagoas de Estabilização na Redução da Carga Orgânica do Percolado Gerado no Aterro da Muribeca (PE)**. Recife, 149 fls. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pernambuco, 2005.
- RUSSO, T.; VIEIRA, J. M. P., **Estudos sobre tratamento de lixiviados de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. In: IX SILUBESA - Simpósio Lusobrasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro-Ba. 9 a 14 de abril 2000. CD Rom, 2000.
- SANCINETTI, G. P.; FIGUEIRA, M. S.; COELHO, M. G., **Uso de Lodos Ativados no Tratamento de Lixiviado Proveniente de Aterro Sanitário**. In: IX SILUBESA - SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Bahia. Anais. Salvador. CD, 2001.
- SANTOS, A.F.M.S., **Avaliação da Biodegradabilidade Anaeróbia e do Tratamento de Lixiviado Através de Reator UASB em Escala Experimental**. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville – SC, 2003.
- SEGATO, L. M.; SILVA, C. L., **Caracterização do Lixiviado do Aterro Sanitário de Bauru**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2000. Anais - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. CD rom, 2000.
- SALGADO, M. T.; PICANÇO, A. P.; MENDONÇA, J. C.; POVINELLI, J., **Degradação Anaeróbia da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos em Sistemas com Recirculação De Percolado**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental- Joinville - Santa Catarina, 2003.

- SILVA, S. M. C. P. da; FERNANDES, F.; LEONE, G., **Possibilidades do Tratamento Físico-Químico para Redução de Carga Orgânica e Precipitação de Metais Pesados do Lixiviado Produzido em Aterro Sanitário**. In: IX SILUBESA – Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro-Ba. CD Rom, 2000.
- SILVA, A. C., **Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado**. Rio de Janeiro, Brasil - 2002. Dissertação de Mestrado, 2002.
- SILVA, C. L.; SEGATO; L. M., **Tratamento de Líquidos Percolados por Evaporação Através do Aproveitamento de Gás de Aterros Sanitários**. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental – Cancun, México, 2002.
- SILVA, A.B.; **Avaliação do Impacto Ambiental causado pelo Chorume no Rio Jaboatão durante o ano de 2005**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campo Grande –MS
- SIMÕES, G. F., **Modelo para avaliação de recalques em aterros de disposição de Resíduos Sólidos Urbanos**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Setembro 2000. Tese (Doutorado), 2000.
- SOUZA, G., **Monitoramento de Parâmetros Qualitativos e Quantitativos de Líquidos Percolados de Aterros Sanitários – Estudo em Piloto Experimental**, Florianópolis - SC. 2005, 86 fls. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- STEFANUTTI, R.; CORAUCCI, B. F.; FIGUEIREDO, R. F.; NOUR, E. A. AL; KLUSENER, L. C. F.; BROLEZE, S. T., **Pós-Tratamento de Efluente de Filtro Anaeróbio: Modelo Reduzido de Valas de Filtração - ABNT 7.229/1993** 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.
- VARGAS, C. G. **A Disposição de Resíduos Sólidos em Área Degradada por Rejeitos da Mineração de Carvão: Análise do Aterro Controlado de Forquilha – SC**. Dissertação de Mestrado. UFSC. 1998.
- VENKATARAMANI, E.S., AHLERT, R.C., CORBO, P., **Biological treatment of landfill leachates**. CRC Critical Reviews in Environmental Control. V. 14, n 4, p. 333-376, 1983.
- VERSIANI, B M.; JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN. I. J.; DEZOTTI, M. W. C.; AZEVEDO, J. P. S., **Fatores Intervenientes no Desempenho de Um Reator UASB Submetido a Diferentes Condições Operacionais**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campo Grande-MS, 2005.
- VON SPERLING, M., **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGILI, S., **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering. ISBN 0-07-063237-5, 1993.

TEIXEIRA, E. N., BIDONE, F. R. A. **PROSAB - Metodologia e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos urbanos**. Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – Ambiental (ABES), 1999.

TEMPS. C. A., XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre – RS, 2000.

TORRES, P.; Borba, L.E.; RIASCOS, J.; VIDAL, J.C., **Tratabilidade biológica de lixiviado produzido em aterro não controlado**. Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro - Brasil. Vol. 2 – nº 2 – ABR/JUN 1997, p 55-62. ISSN 1413-4152, 1997.

TORRES, C. C., **Destilador Solar**, Informe Final, Contrato FINEP/UFPB, IF/727, Sub Programa II, 1984.

TUCCI, C. E. M., **Hidrologia: Ciências e Aplicação**. 3.ed. Porto alegre: Editora da UFRGS / ABRH, 2002.

WILLIAMS, P. T. (2002), **Environmental and Health Impact of Solid Waste Management Activities**, in Chapter: Emissions from Solid Waste Management Activities. p. 141-165, Leeds – UK.

www.educar.sc.usp.br/biologia/prociencias acesso: 05/10/2007

www.mundodoquimico.hpg.ig.com.br: acesso: 25/ 08/2008

<http://www.grundfos.com/web/homept.nsf/Webopslag/CAMO-59ZE2M>.
acesso 26/08/2008

(www.mma.org.br): acesso: 09/02/2007

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)